

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DOS SISTEMAS
AQUÍFEROS BAURU E GUARANI NO MUNICÍPIO DE BAURU**

Sueli Roberta da Silva

Orientador: Prof. Dr. Chang Hung Kiang

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao
Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente
Área de Recursos Hídricos e Energéticos
para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente

**Rio Claro (SP)
2009**

551.49 Silva, Sueli Roberta da
S5862h Hidrogeoquímica dos sistemas aquíferos Bauru e Guarani
no município de Bauru / Sueli Roberta da Silva. - Rio Claro :
[s.n.], 2009
101 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro
Orientador: Chang Hung Kiang

1. Águas subterrâneas. 2. Hidrogeoquímica de aquíferos. 3.
Hidroquímica. 4. Modelo hidrogeológico conceitual. I.
Título.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Chang Hung Kiang

Prof. Dr. Reginaldo Bertolo

Prof. Dr. Didier Gastmans

Sueli Roberta da Silva

Aluna de mestrado

Rio Claro, 17 de abril de 2009

Resultado: Aprovado

...só sei que nada sei...

Sócrates

*Dedico este trabalho
aos meus pais, João e Maria Julia.*

AGRADECIMENTOS

Durante todo o tempo em que este mestrado foi desenvolvido tive o prazer de conhecer e conviver com pessoas bastante queridas e de participar de um grupo de pesquisa que só me enriqueceu, tanto como profissional e pesquisadora, quanto como ser humano. A todos com quem convivi durante este período devo os mais sinceros agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Chang Hung Kiang pelo apoio, dedicação, paciência, amizade e viabilização desta pesquisa.

À Prof. Dr. Maria Rita Caetano Chang pelas correções, apoio e discussões, que foram fundamentais para o andamento da pesquisa.

Ao Flávio de Paula e Silva pelas correções e discussões sobre a geologia da área.

Ao CNPQ (Conselho Nacional de Pesquisa Científica) pela concessão de bolsa de estudos (Processo 131169/2007-6).

À Giselda, José Brazoloto e a todos do DAE de Bauru pelo apoio e incentivo durante as coletas de água e pesquisa nos arquivos.

Ao DAEE de Araraquara pela disponibilização dos documentos de outorga dos poços.

A todos que conheci no LEBAC e que muito me ajudaram em algum momento da minha pesquisa, Márcio, Cris, Elias, Davi, Bianca, Joseli, Andreza, Fernando.

Aos grandes amigos que me apoiaram e me ajudaram durante o desenvolvimento deste trabalho, Juliana, Didier, Geise, Márcio, Sandra, Márcia, Eliana, Miguel, Elias, Sílvia, Humberto, Vilma, José Ricardo.

Ao programa de Pós Graduação pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa de mestrado.

RESUMO

Os Sistemas Aquíferos Bauru e Guarani, na área urbana do município de Bauru, apresentam-se em contato direto, diferentemente do que ocorre na maior parte da porção centro-oeste do estado de São Paulo, em que o Aquífero Serra Geral está entre eles. A partir da caracterização hidroquímica dos aquíferos, foi verificado que as águas do SAB são predominantemente ácidas e bicarbonatadas cálcicas, com provável dissolução de carbonatos e monossilicização de feldspatos, enquanto que as do SAG apresentam-se predominantemente básicas, bicarbonatadas sódicas, com provável precipitação de carbonatos e reações de troca catiônica. As concentrações de nitrato e cloreto apresentam-se maiores na porção central da área de estudo, e são características de influência antrópica. Em dois poços do SAG, as concentrações de cálcio, nitrato e cloreto são maiores e o valor de pH é menor que nas demais amostras deste aquífero; estes valores são similares aos obtidos para as águas do SAB; o que é sugestivo de conexão entre os dois aquíferos. No entanto, considerando que nestes poços a espessura do SAG na seção filtrante é menor, é provável que a mistura das águas dos dois sistemas aquíferos esteja ocorrendo dentro do próprio poço, devido suas características construtivas.

Palavras-chaves: Sistema Aquífero Guarani, Sistema Aquífero Bauru, Hidrogeoquímica.

ABSTRACT

The Guarani Aquifer System (SAG) and Bauru Aquifer System (SAB), in Bauru urban area, São Paulo state, are in direct contact, differently from what occurs in São Paulo state center-west, where the Serra Geral Aquifer is between them. The aquifer hydrogeochemistry characterization of the SAB had been shown that groundwater are predominantly acid and calcium-bicarbonate type, probable related to carbonate dissolution and feldspar hydrolysis, while the SAG are predominantly basic and sodium-bicarbonate type, probably related to carbonate precipitation and ionic exchange. The nitrate and chloride concentrations have been higher in the study central area and influenced by antropic factors. The concentrations of calcium, nitrate and chloride are higher and the pH is lower than in other samples collected in two wells from SAG. Such values are close to the ones got to SAB groundwater; what is suggestive of connection the two aquifers. Therefore, considering that in these wells the SAG thickness in the filter section is lower, it is likely that the two aquifers systems water mixing have been occurring inside of the well due to its construction.

Keywords: Guarani Aquifer System, Bauru Aquifer System, Hydrogeochemistry

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1.1 - Localização da área de estudo	4
Figura 1.2 - Mapa geológico regional da região do município de Bauru (CPRM, 2007)	5
Figura 2.1 - Fluxograma com as etapas para o desenvolvimento do projeto.	9
Figura 2.2 - Equipamentos de medição dos parâmetros pH, CE e Eh.....	12
Figura 2.3 - Amostragem de água	12
Figura 3.1 – Bacia do Paraná.....	15
Figura 3.2 - Sistema Aquífero Guarani no Brasil e no Estado de São Paulo (modificado de Rocha, G. (org), 2005).....	16
Figura 3.3 - Sistema Aquífero Bauru no Brasil e no Estado de São Paulo (modificado de Rocha, G. (org), 2005).....	18
Figura 3.5 - Seção geológica esquemática da área urbana de Bauru (modificado de Paula e Silva e Cavaguti, 1994)	21
Figura 3.6 - A. Mapa geológico na área urbana do município de Bauru; B. Geologia de subsuperfície com as unidades litoestratigráficas do Grupo São Bento, sotopostas ao Grupo Bauru	22
Figura 3.7 - Perfil geofísico em poço da área urbana de Bauru. (fonte: Cavaguti e Paula e Silva, 1992). Destaque em cinza claro para a camada basal do Grupo Bauru que se apresenta pelítica.	25
Figura 3.8 – Grupos A, B e C definidos por Meng e Maynard (2001), em estudo estatístico	33
Figura 4.1 – Carga hidráulica mensurada à época da instalação dos poços a partir de pesquisa no DAEE-Araraquara em 2008, para alguns poços instalados no município de Bauru, no SAG e no SAB.....	37
Figura 4.2 - Localização dos poços tubulares amostrados. Mapa A: Localização dos poços tubulares com seção filtrante no SAB. Mapa B: Localização dos poços tubulares com seção filtrante no SAG e Aquífero Serra Geral	38
Figura 4.3 – Dendrograma (modo Q) resultante da Análise de Agrupamentos das amostras de água subterrânea coletadas na área urbana do município de Bauru	42
Figura 4.4 - Gráfico com a relação entre as amostras e as componentes F1 e F2.....	45
Figura 4.5 – Distribuição dos grupos em relação às componentes.....	47
Figura 4.6 – Mapa de distribuição dos grupos identificados. A: Distribuição das amostras do SAG. B: Distribuição das amostras do SAB.	48
Figura 4.7 - Histograma e distribuição cumulativa do balanço de carga das amostras.....	50
Figura 4.8 - Histograma com a distribuição dos valores de condutividade elétrica das amostras.....	51
Figura 4.9 - Condutividade elétrica (medida em campo) <i>versus</i> concentração de ânions (meq/L)	51
Figura 4.10 - Diagrama de Piper para amostras do SAG	53
Figura 4.11 - Distribuição, em planta, dos diagramas de Stiff para as águas do SAG e do Aquífero Serra Geral	54
Figura 4.12 - Diagrama de Piper para amostras do SAB	55
Figura 4.13 - Distribuição, em planta, dos diagramas de Stiff para as águas do SAB.....	56
Figura 4.14 – Distribuição em planta dos valores de pH para o SAG (Mapa A) e SAB (Mapa B)	58
Figura 4.15 - Valores de pH para o SAG e SAB.....	59
Figura 4.16 - Valores de condutividade elétrica para o SAG e SAB	59

Figura 4.17 – Distribuição em planta dos valores de condutividade elétrica para o SAG (Mapa A) e SAB (Mapa B)	60
Figura 4.18 – Distribuição dos ânions nas águas subterrâneas do SAG	62
Figura 4.19 – Distribuição dos cátions nas águas subterrâneas do SAG	63
Figura 4.20 – Bicarbonato nas águas subterrâneas do SAG e do SAB	63
Figura 4.21 - Íons de Na^+ e Ca^{2+} nas águas subterrâneas do SAG e do SAB	64
Figura 4.22 – Distribuição dos ânions nas águas subterrâneas do SAB.....	64
Figura 4.23 – Distribuição dos cátions nas águas subterrâneas do SAB.....	65
Figura 4.24 – Relação iônica $\text{rNa}^+/\text{rCa}^{2+}$ nas águas subterrâneas do SAB (Mapa A) e do SAG (Mapa B).....	66
Figura 4.25 – Relação iônica $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ nas águas subterrâneas do SAB (Mapa A) e do SAG (Mapa B).....	67
Figura 4.26 – Relação iônica $\text{HCO}_3^-/\text{SiO}_2$ nas águas subterrâneas do SAB (Mapa A) e do SAG (Mapa B).....	68
Figura 4.27 – Relação iônica K^+/Na^+ nas águas subterrâneas do SAB (Mapa A) e SAG (Mapa B)	69
Figura 4.28 - Somatória de cátions <i>versus</i> concentração de bicarbonato para amostras do SAG	71
Figura 4.29 – Índice de saturação da gipsita <i>versus</i> índice de saturação da calcita	72
Figura 4.30 - Índice de saturação da dolomita <i>versus</i> índice de saturação da calcita	73
Figura 4.31 - Ca^{2+} <i>versus</i> Na^+	74
Figura 4.32 – Concentração de cálcio <i>versus</i> bicarbonato para amostras do SAB	75
Figura 4.33 – Índice de saturação do quartzo <i>versus</i> índice de saturação da calcita.....	76
Figura 4.34 - Índice de saturação da calcedônia <i>versus</i> índice de saturação da calcita.	77
Figura 4.35 - Diagrama de estabilidade $\text{NaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (25°C).	78
Figura 4.36 - Diagrama de estabilidade $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (25°C).	79
Figura 4.37 - Diagrama de estabilidade $\text{K}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (25°C).....	79
Figura 4.38 – Distribuição de nitrato_N em planta no SAG (Mapa A) e no SAB (Mapa B) .	84
Figura 4.39 – Distribuição de cloreto em planta no SAB (Mapa A) e no SAG (Mapa B).....	85
Figura 4.40 – Relação entre profundidade dos poços e concentração de nitrato.	86
Figura 4.41 – Relação entre profundidade dos poços e concentração de cloreto.....	86

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 3.1 - Correlação entre as unidades hidroestratigráficas e litoestratigráficas no estado de São Paulo.	17
Tabela 3.2 - Cátions e ânions em amostra de água de chuva.	31
Tabela 4.1 - Parâmetros de estatística descritiva das amostras analisadas.	40
Tabela 4.2 - Correlação de Pearson entre as variáveis das amostras do SAG.	40
Tabela 4.3 - Correlação de Pearson entre as variáveis das amostras do SAB.	41
Tabela 4.4 - Autovalores.	43
Tabela 4.5 - Autovetores para os íons analisados.	43
Tabela 4.6 - Contribuição das variáveis	44
Tabela 4.7 - Descrição dos grupos.	46
Tabela 4.8 - Autovalores e variância.	46

LISTA DE ANEXOS

Página

<i>ANEXO I - Dados dos poços tubulares amostrados.....</i>	<i>103</i>
<i>ANEXO II – Resultados Analíticos.....</i>	<i>106</i>
<i>ANEXO III - Balanço iônico e índices de saturação</i>	<i>109</i>
<i>ANEXO IV - Resultados físico-químicos.....</i>	<i>112</i>
<i>ANEXO V - Relações iônicas.....</i>	<i>115</i>

ABREVIATÓES

ATP – Antes do Presente

CE – Condutividade Elétrica

DAE – Departamento de Águas e Esgoto

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

Eh – Potencial de Oxi-Redução

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Isat – Índice de Saturação

pH – Potencial Hidrogeniônico

PT – Poço Tubular

SAB – Sistema Aquífero Bauru

SAG – Sistema Aquífero Guarani

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

VMP – Valor Máximo Permitido

Sumário

Página

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Localização e considerações sobre a área de estudo	2
1.2	Objetivos	7
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
2.1	Estudos preliminares e planejamento das atividades	10
2.2	Amostragem da água subterrânea nos poços tubulares	10
2.3	Tratamento dos dados e elaboração de modelo conceitual hidrogeoquímico	13
3	CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....	14
3.1	Grupo São Bento	23
3.2	Grupo Bauru	27
3.3	Hidroquímica	31
4	RESULTADOS OBTIDOS.....	36
4.1	Análise estatística.....	39
4.2	Principais características físicas e químicas das águas subterrâneas	49
5	MODELO HIDROGEOQUÍMICO CONCEITUAL	87
6	CONCLUSÕES.....	91
6.1	Sistemas Aquíferos – SAG e SAB.....	91
6.2	Ação antrópica	92
7	BIBLIOGRAFIA	94
8	ANEXOS.....	102

1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas Aquíferos Bauru e Guarani (SAB e SAG, respectivamente) apresentam ampla ocorrência no estado de São Paulo, porção oeste e centro oeste, e têm sido intensamente explorados para consumo humano. No município de Bauru, onde são aflorantes as formações Marília e Adamantina (Grupo Bauru), 60% da água de abastecimento público provém do SAB e do SAG.

Considerando a dependência em relação ao consumo de água subterrânea, o grau de confinamento do aquífero, a profundidade do nível de água e a capacidade de atenuação de contaminantes na zona não saturada, o mapa de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos do Estado de São Paulo (HIRATA et al., 1997) mostra que a unidade de gerenciamento de recurso hídrico na qual está inserida a cidade de Bauru (UGRHI 13) contém áreas com alta vulnerabilidade à contaminação.

O Sistema Aquífero Bauru constituído, no município de Bauru, pelas formações Adamantina e Marília, é livre em toda sua extensão e explorado principalmente por proprietários particulares, por meio de poços tubulares.

O Sistema Aquífero Guarani, composto pelas formações Botucatu e Pirambóia, é o principal aquífero explorado pelo DAE (Departamento de Água e Esgoto) de Bauru para o abastecimento público da cidade.

O estudo hidrogeoquímico do SAG e do SAB no município de Bauru visou a caracterização hidroquímica da água subterrânea e sua relação com o arcabouço

geológico (interação rocha-fluido), a avaliação de uma possível interrelação entre os dois aquíferos ali explorados e à vulnerabilidade destes ao meio externo, considerando que a composição química das águas subterrâneas está relacionada ao ciclo hidrológico e à sua interação com o ciclo das rochas (STUMM; MORGAN, 1996), e que as formações do Grupo Bauru estão, em grande parte do município, em contato direto com as formações sedimentares do Grupo São Bento.

1.1 Localização e considerações sobre a área de estudo

A área de estudo tem aproximadamente 175 km² e corresponde à área urbana do município de Bauru, cuja área total é de 673 km². Está localizada a 352 km da capital de São Paulo (Figura 1.1), na porção central do estado. A principal via de acesso é a Rodovia Marechal Rondon (SP-300).

Este município possui aproximadamente 380.000 habitantes (IBGE 2007) e está situado nas bacias hidrográficas dos rios Bauru e Batalha (UGRHI 13 e 16), afluentes da margem esquerda do rio Tietê.

Afloram na região rochas sedimentares do Grupo Bauru (formações Adamantina e Marília) e o relevo é caracterizado por planaltos dissecados, amplas colinas com predomínio de baixas declividades (0 a 15%), interflúvios de área superior a 4 km² e vertentes com perfis retilíneos a convexos (IPT, 1981). A drenagem é de baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos e planícies aluviais interiores restritas. Próximo à cidade de Agudos ocorrem morrotes alongados e espigões, caracterizados por interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos a achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, drenagem de média a alta densidade, com padrão dendrítico e vales fechados.

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, tropical de altitude, com verão quente e úmido, e inverno seco. A figura 1.3 apresenta a média mensal da precipitação e temperatura entre os anos de 2001 e 2007 (IPmet, 2008).

Os solos são classificados como Latossolo vermelho distrófico a leste do município de Bauru, Argilossolo vermelho amarelo, Argilossolo vermelho amarelo eutrófico e Latossolo vermelho distrófico a oeste, com ocorrências de Neossolo

litólico ao sul. Os Latossolos são solos altamente intemperizados, profundos e bem drenados, constituídos predominantemente por sesquióxidos, minerais de argila do tipo 1:1 (caulinita) e quartzo. Os óxidos de ferro livre contribuem para a agregação das partículas de silte e argila, fazendo com que esses solos sejam bem arejados e friáveis. Os Argissolos são solos caracterizados pela presença de horizonte B textural com iluviação de argila. Os Neossolos são solos pouco evoluídos, com ausência de horizonte B diagnóstico, IBGE (2001).

Aproximadamente 60% da água consumida neste município é explorada principalmente do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Os 40% restantes provém do Rio Batalha. Segundo informações obtidas no DAE de Bauru em 2008, foram produzidos 2.900.000 m³ de água e o esgoto, *in natura*, tem sido lançado no rio Bauru. As áreas abastecidas por água subterrânea e por água superficial, e a localização dos rios Bauru e Batalha, na área de estudo, podem ser visualizados na figura 1.1.

A vegetação nativa que recobria a área da cidade era constituída pelo cerrado e floresta tropical. O cerrado estava associado aos solos muito profundos e muito permeáveis, característicos do Latossolo. A floresta tropical subcaducifólia era predominante nos solos podzólicos. Atualmente a mata nativa é considerada uma grande reserva urbana de Cerrado, típico da região, e está presente na cabeceira do rio Bauru e no Jardim Botânico (Santos, J.A dos; Vitte, A.C, 2006).

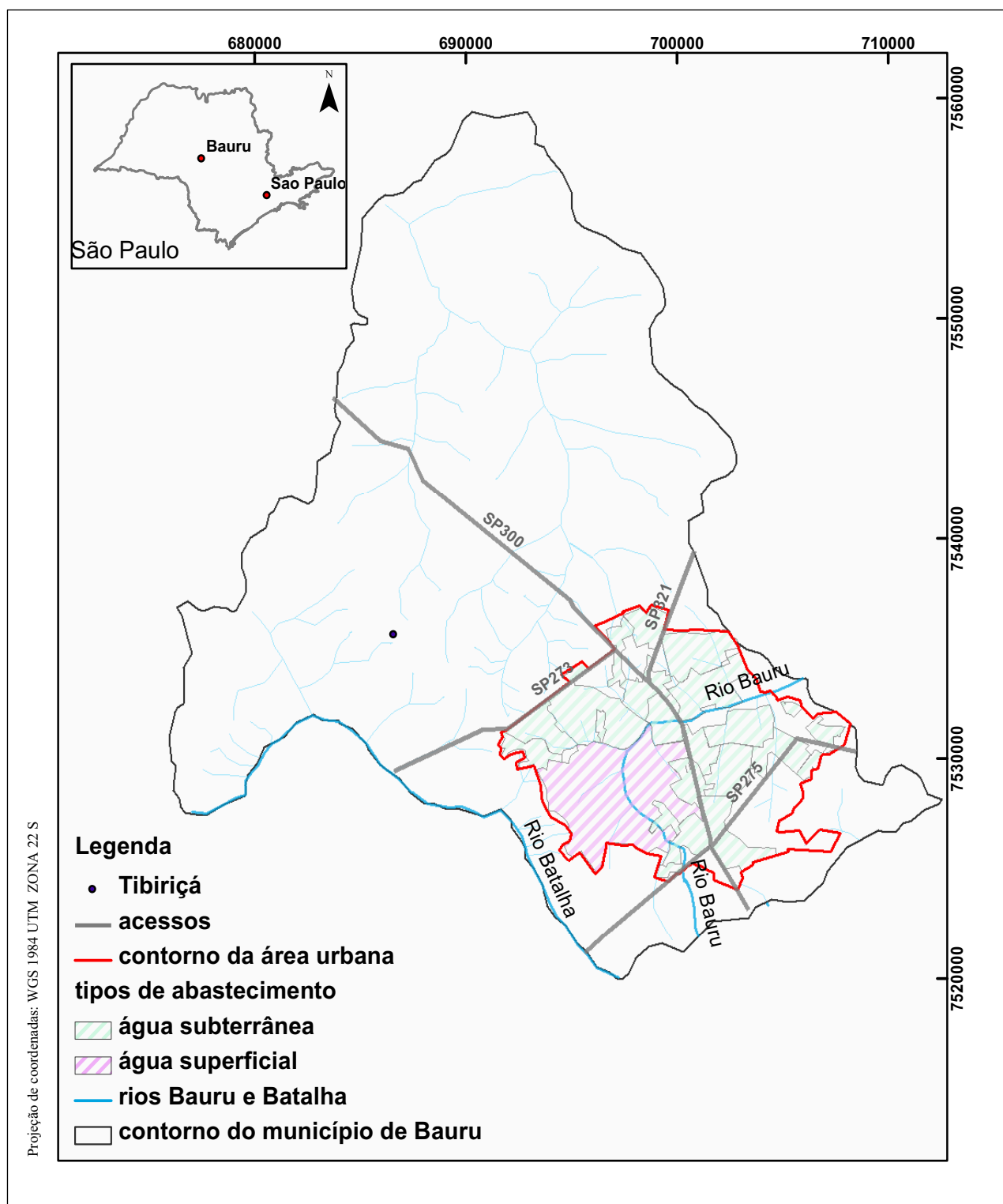


Figura 1.1 – Localização da área de estudo

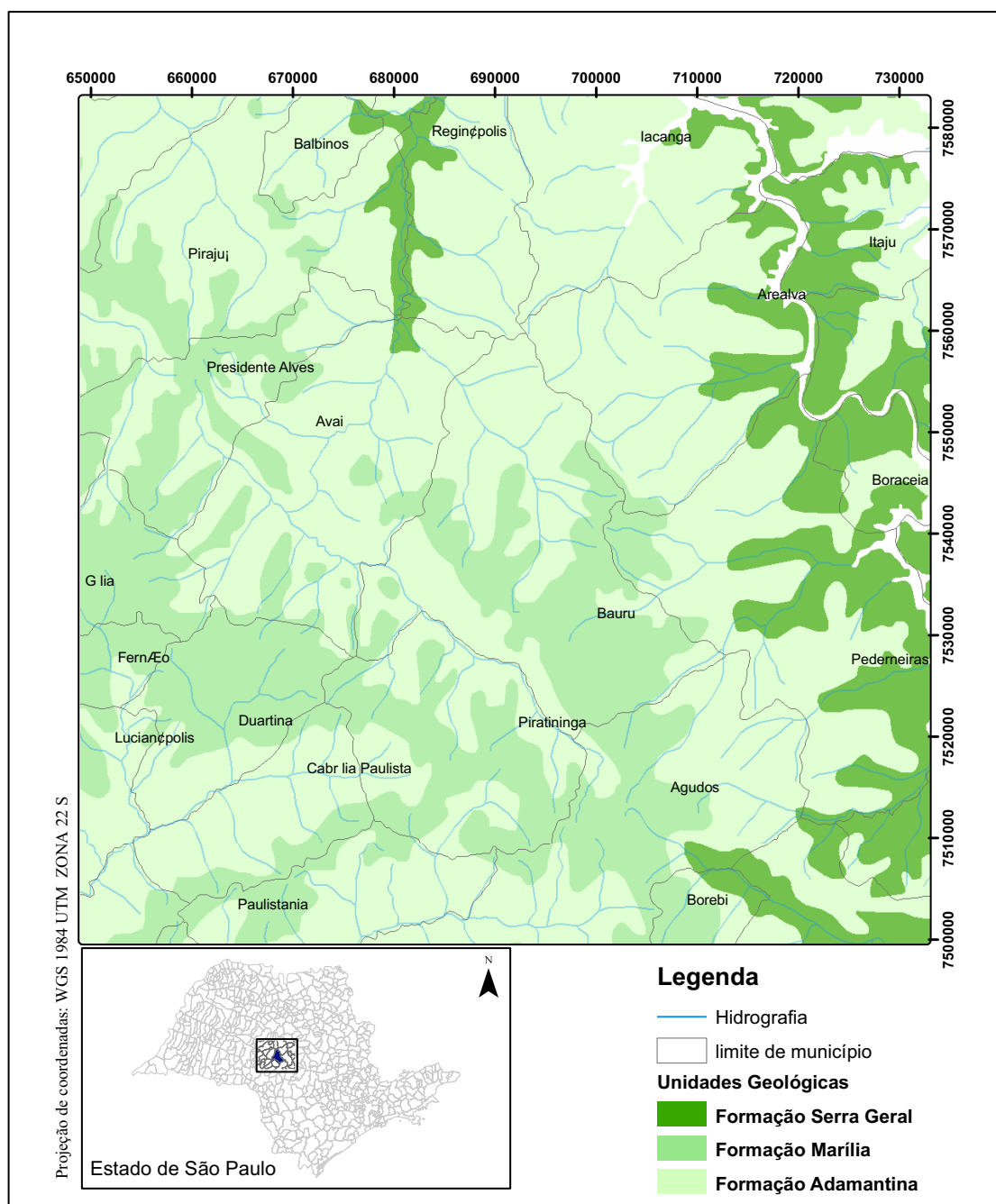


Figura 1.2 - Mapa geológico regional da região do município de Bauru (CPRM, 2007)

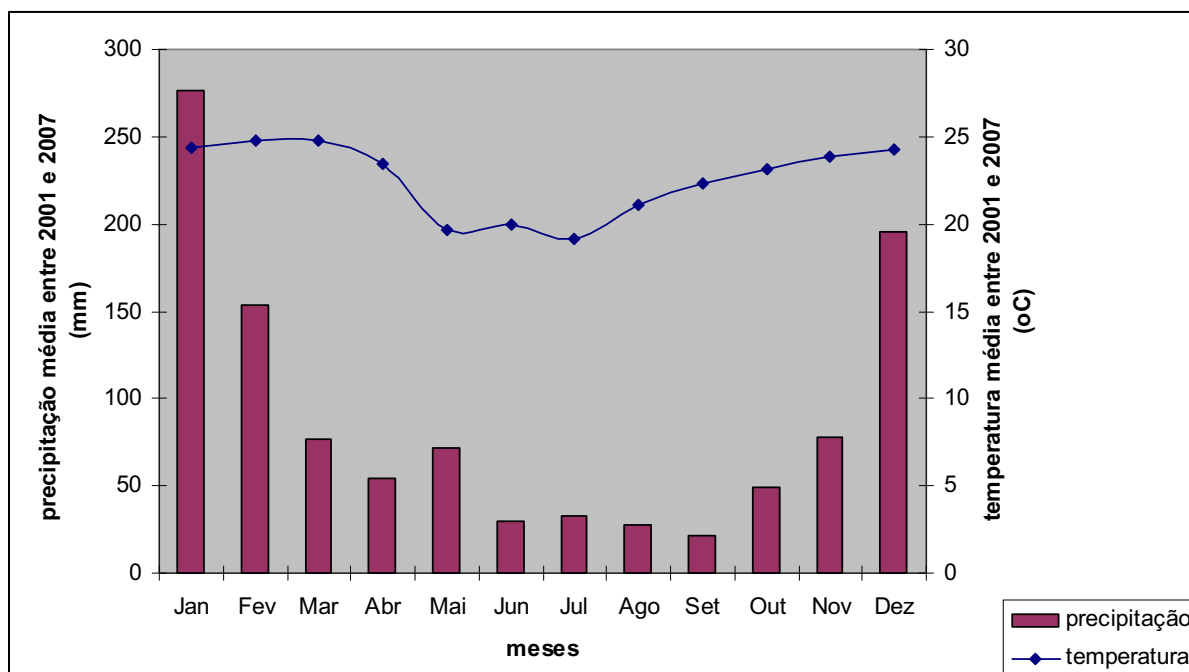


Figura 1.3 - Gráfico com a precipitação média em Bauru, entre 2001 e 2007 (IPmet, 2007).

1.2 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo principal o estudo hidrogeoquímico das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Guarani e Bauru na área urbana do município de Bauru, com a elaboração de um modelo conceitual da hidrogeoquímica local, a partir da:

- caracterização do arcabouço geológico e da constituição mineralógica das rochas que compõem os sistemas aquíferos Bauru e Guarani, com base em estudo bibliográfico;
- especiação e caracterização hidroquímica dos sistemas aquíferos Guarani e Bauru;
- avaliação de impacto antrópico por nitrato nos dois sistemas aquíferos, SAG e SAB.

A importância da elaboração de um modelo conceitual de hidrogeoquímica na área de interesse está configurada na relação estratigráfica existentes entre os sistemas aquíferos, associada a uma possível interconexão entre suas águas, que pode ser fator de vulnerabilidade à contaminação do SAG pelo SAB.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a caracterização hidrogeoquímica dos sistemas aquíferos SAG e SAB, foram utilizadas informações de bibliografia recente do arcabouço geológico destes sistemas aquíferos e da hidroquímica das águas subterrâneas correspondentes.

As informações de hidroquímica contemplaram:

- dados coletados em publicações de trabalhos realizados em escala local; e
- dados recentes obtidos com a amostragem em 51 poços tubulares no município.

A figura 2.1 apresenta um fluxograma com as principais etapas desenvolvidas.

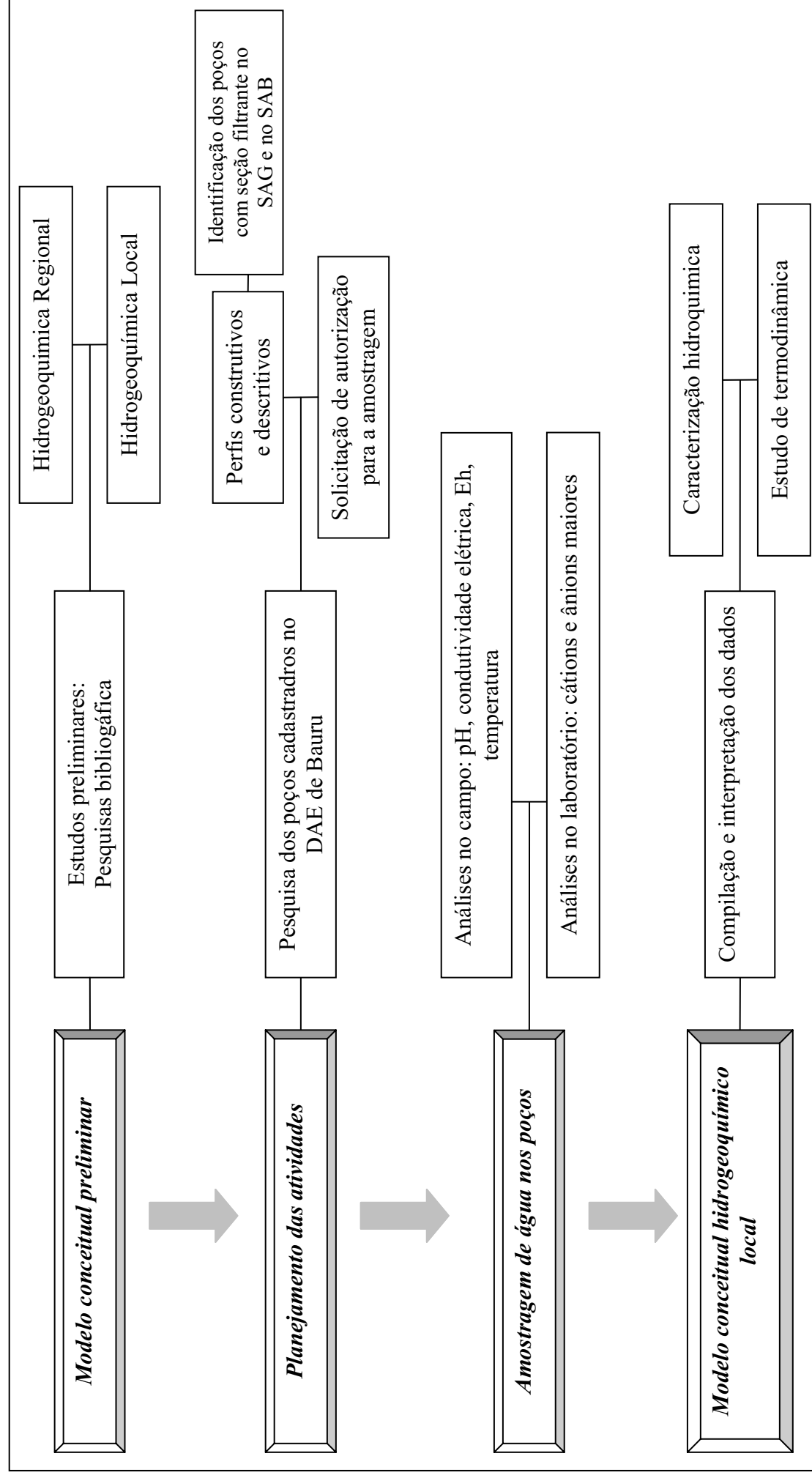


Figura 2.1 - Fluxograma com as etapas para o desenvolvimento do projeto.

2.1 Estudos preliminares e planejamento das atividades

Este estudo teve início com o levantamento de dados referentes ao arcabouço e contexto geológico regional e local das unidades litoestratigráficas formadoras dos Sistemas Aquíferos Guarani e Bauru. Este levantamento contemplou a revisão das publicações recentes referentes às áreas de ocorrência das formações do SAG e SAB.

Concomitante ao estudo bibliográfico, foi realizado um levantamento, junto ao DAE de Bauru e DAEE de Araraquara, dos poços cadastrados no município de Bauru. O levantamento incluiu uma pesquisa dos dados referentes à profundidade, geologia e posição da seção filtrante nos perfis anexados aos relatórios dos poços. Após o levantamento destas informações, os proprietários/administradores dos poços tubulares receberam ofícios que solicitavam autorização para a coleta da água subterrânea.

A coleta foi autorizada em 26 poços administrados pelo DAE para abastecimento do município, e em 25 poços pertencentes a proprietários residenciais e/ou industriais. A amostragem foi realizada em duas etapas:

- a primeira campanha de amostragem, entre 20 e 22 de fevereiro de 2008, contemplou os 26 poços administrados pelo DAE-Bauru;
- a segunda campanha, realizada entre 23 e 28 de abril de 2008, contemplou os 25 poços tubulares de proprietários particulares.

2.2 Amostragem da água subterrânea nos poços tubulares

A amostragem da água subterrânea foi realizada para a quantificação dos constituintes inorgânicos (cátions e ânions) e parâmetros (pH, condutividade e temperatura) que controlam a interação destas espécies.

A figura 2.2 apresenta uma foto dos equipamentos utilizados nas medições em campo (parâmetros físico-químicos). A figura 2.3 apresenta um dos poços tubulares que foi amostrado.

Previamente à coleta, as bombas existentes nos poços foram ligadas por alguns minutos para assegurar a renovação da água estagnada na tubulação e no poço. Para a amostragem procurou-se um ponto de coleta próximo ao poço e anterior aos processos de fluoretação, cloração e/ou armazenamento na caixa d'água.

Para envio ao laboratório de hidroquímica da UNESP (Universidade Estadual Paulista) de Rio Claro, as alíquotas para análise de cátions foram previamente filtradas com filtro 0,45µm Milipore[®], e preservadas com ácido nítrico e sob refrigeração. Para as análises de ânions a preservação foi somente sob refrigeração.

2.2.1 Parâmetros físico-químicos

Durante a amostragem os seguintes parâmetros foram quantificados:

- ✓ Temperatura - parâmetro importante para as interpretações geoquímicas, já que a interação entre os constituintes presentes na rocha e na água é variável em função da temperatura;
- ✓ CE - Condutividade elétrica (capacidade da água para conduzir corrente elétrica) - está relacionada aos tipos e concentração das espécies dissolvidas em água;
- ✓ pH (representa a atividade do íon hidrogênio na solução e é expresso como o logaritmo negativo da atividade do íon H⁺) - é importante para o entendimento da hidrogeoquímica do sistema aquoso, já que este parâmetro pode ser modificado com a maior ou menor presença dos íons maiores na água;
- ✓ Eh (representa o potencial de oxi-redução de uma solução aquosa em volts) - os valores obtidos em campo (eletrodo de Ag/AgCl) foram convertidos para o SHE (*standard hydrogen electrode*) e têm conotação qualitativa já que há dificuldades na obtenção do valor exato de Eh devido à presença de diversos pares de oxi-redução em águas naturais, ao contato com o oxigênio atmosférico durante as medições, à lentidão das reações junto ao eletrodo, entre outros.

Os eletrodos utilizados para as medições foram da marca ORION série 3-star.



Figura 2.2 - Equipamentos de medição dos parâmetros pH, CE e Eh



Figura 2.3 - Amostragem de água

2.2.2 Métodos analíticos

As quantificações realizadas pelo Laboratório de Hidroquímica da UNESP seguiram as orientações dos métodos em Heaton; Clesceri e Greenberg, 1995 (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 19ª edição, 1995). Os cátions e ânions quantificados em laboratório foram os que seguem.

- ✓ Os cátions sódio e potássio foram determinados com uso de espectrofotometria de absorção atômica;
- ✓ Os cátions silício, magnésio, cálcio, estrôncio, zinco, fósforo, chumbo, cobalto, cádmio, níquel, manganês, ferro, cromo, alumínio, cobre e bário foram analisados por espectrofotometria de emissão atômica com fonte de plasma de argônio induzido indutivo.
- ✓ A alcalinidade (em HCO_3^-) foi obtida por titulação e os íons nitrato, sulfato e os ânions flúor e o cloreto, foram determinados por cromatografia de íons.

2.3 Tratamento dos dados e elaboração de modelo conceitual hidrogeoquímico

A avaliação das características hidroquímicas, incluindo a concentração de sais, as trocas iônicas, os processos de oxi-redução, entre outros, foi realizada com a integração das características químicas das águas subterrâneas, do estudo de equilíbrio químico das espécies dissolvidas, mapas com a disposição em planta de parâmetros e substâncias dissolvidas, e dos dados obtidos com estatística descritiva e multivariada.

O aplicativo XLSTAT (versão 7.2) foi utilizado para a análise descritiva e multivariada, o Phreeq C foi utilizado para a especiação hidroquímica, e os programas Rockworks 99® e Geostiff® foram utilizados para a confecção dos diagramas de Piper e Stiff.

3 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Os sistemas aquíferos Guarani e Bauru (Figura 3.1) estão inseridos no contexto geológico da Bacia do Paraná.

A Bacia do Paraná é caracterizada como uma unidade geotectônica localizada na região sudeste da América do Sul, e teve origem no Paleozóico como um golfo aberto para o Panthalassa. O Grupo São Bento foi depositado no Mesozóico (entre o Triássico e o Cretáceo), durante a implantação de um ambiente desértico e a manutenção de uma ampla superfície de deflação eólica na Bacia do Paraná, até a ruptura do Gondwana, quando o embasamento da bacia foi intensamente afetado pela intrusão de colossais volumes de magmatitos (Formação Serra Geral), que se instalaram como diques e soleiras entre as rochas sedimentares ou extravasaram-se à superfície. Durante o neocretáceo houve o último ciclo de subsidência na história evolutiva da Bacia do Paraná e foram acumulados sedimentos continentais sobre a Formação Serra Geral aproveitando o espaço flexural de acomodação originado à superfície pela sobrecarga litostática dos basaltos (Milani 2004).

O Sistema Aquífero Guarani possui aproximadamente 1.000.000 km² de área no Brasil (Figura 3.2) e está predominantemente confinado pelos basaltos da Formação Serra Geral. Apresenta contato inferior, na área de estudo, com o aquífero do Grupo Passa Dois e tem área de recarga na porção centro-leste do estado de São Paulo.

A direção preferencial de fluxo subterrâneo para esse sistema aquífero é, no estado de São Paulo, de leste para oeste, das áreas de afloramento para o rio Paraná. Silva (1983) obteve, por meio de datação com carbono 14, idade de até 30.000 anos ATP e França et al (2003) estimou uma velocidade média de 5 a 10 m/ano para as águas do SAG no estado de São Paulo. Para o município de Bauru, Portugal (2006) obteve idade de aproximadamente 13.000 anos.

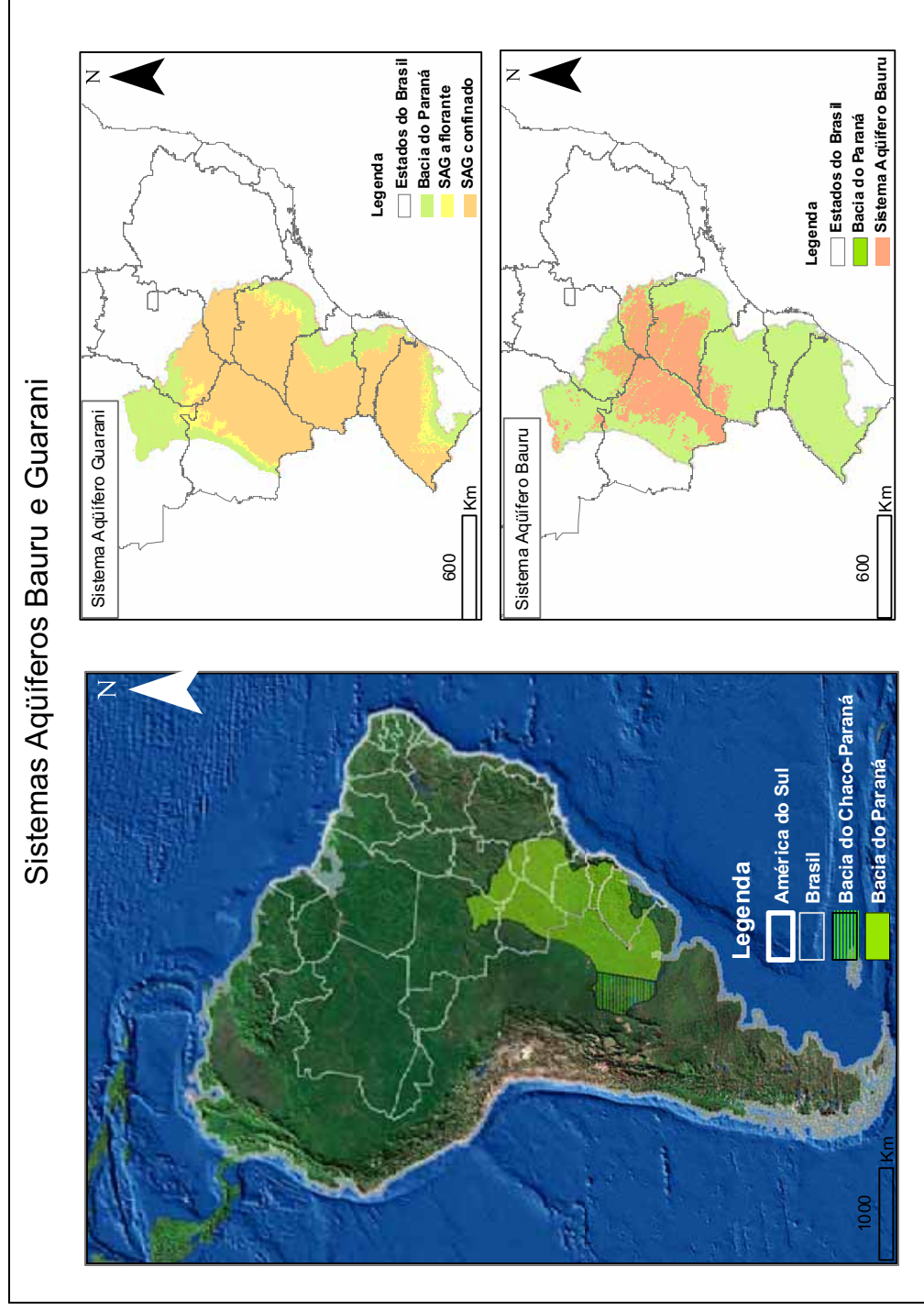


Figura 3.1 – Bacia do Paraná

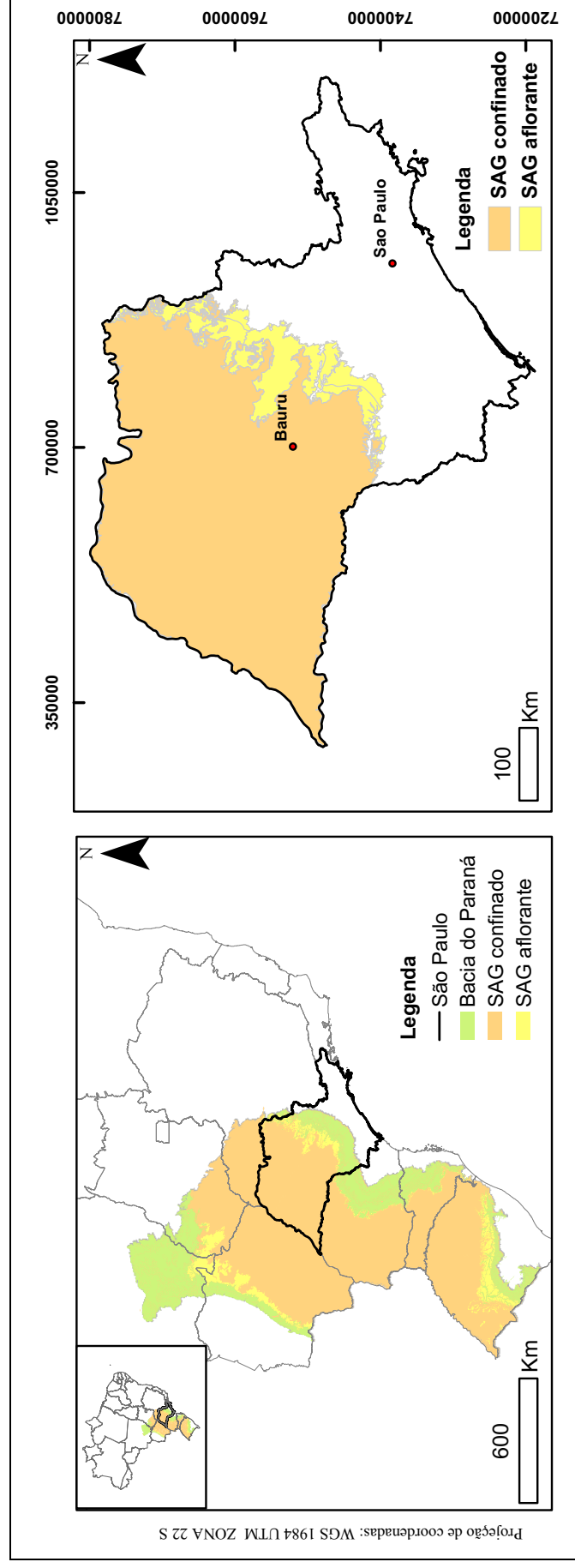


Figura 3.2 – Sistema Aquífero Guarani no Brasil e no Estado de São Paulo (modificado de Rocha, G. (org), 2005)

O Sistema Aquífero Bauru tem extensão regional, área aproximada de 97.000 km² (Figura 3.3), é livre a semi-confinado e apresenta espessura média de 100 metros (CAMPOS, 1993). Apresenta como limites a oeste e noroeste o rio Paraná, a norte o rio Grande, a sul o rio Paranapanema, e áreas de afloramento da Formação Serra Geral na região leste (FERNANDES, 1998). No estado de São Paulo, o SAB repousa sobre a Formação Serra Geral, exceto localmente, como nos municípios de Bauru e Agudos, onde cobre parcialmente as rochas das formações Botucatu e Pirambóia. A recarga é predominantemente por água meteórica recente e o tempo de residência da água subterrânea é pequeno (BARISON, 2003), com direção de fluxo das águas subterrâneas no sentido dos principais rios, como o Turvo, Preto, São José dos Dourados, Tiête, Aguapeí, Peixe, Santo Anastácio, Paraná e Paranapanema (CAMPOS, 1987). A velocidade média é de 4 cm/dia nas áreas onde estão as formações Adamantina e Marília (ROCHA et al., 1979), entretanto as características hidráulicas são extremamente variáveis, devido à diversidade litofaciológica que resulta em diferentes porosidades e permeabilidades (PAULA E SILVA, 2003).

No estado de São Paulo estes sistemas aquíferos (SAG e SAB) são formados pelas unidades litoestratigráficas do Grupo São Bento (Formações Pirambóia e Botucatu) e Grupo Bauru, respectivamente. A tabela 3.1 apresenta a correlação entre as unidades hidroestratigráficas e litoestratigráficas no estado de São Paulo.

Tabela 3.1 - Correlação entre as unidades hidroestratigráficas e litoestratigráficas no estado de São Paulo

Unidade Hidroestratigrafia	Unidades da Bacia do Paraná (porção setentrional do Brasil)
SAB	Grupo Bauru (Formações. Marília, Adamantina, Araçatuba, Birigui, Santo Anastácio, Caiuá, Pirapozinho) (PAULA E SILVA, 2003)
Aquitarde	Formação Serra Geral
SAG	Formação Botucatu Formação Pirambóia
Aquitarde	Grupo Passa Dois

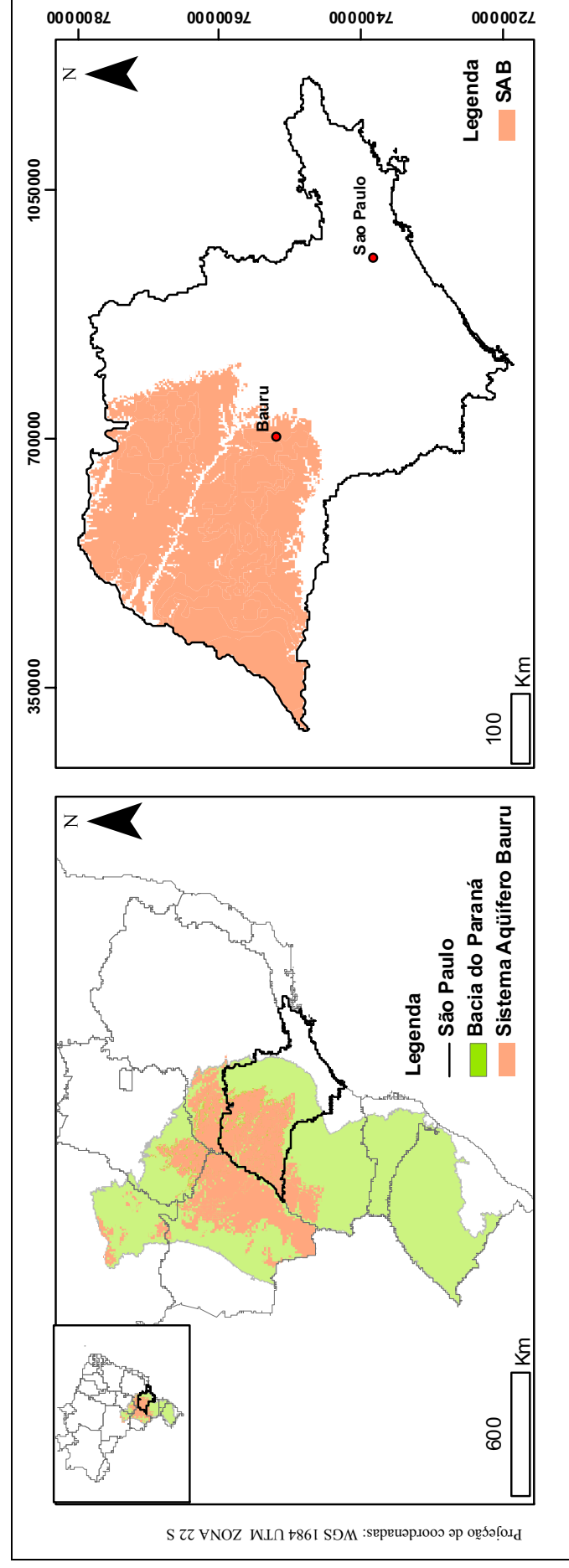


Figura 3.3 – Sistema Aquífero Bauru no Brasil e no Estado de São Paulo (modificado de Rocha, G. (org), 2005)

Na cidade de Bauru afloram as unidades litoestratigráficas Marília e Adamantina (Figura 1.2). Estas formações cretáceas estão assentadas, em contato discordante, sobre as formações Serra Geral, ou Botucatu, ou Pirambóia, do Grupo São Bento (Figura 3.4), dependendo do posicionamento geográfico assumido na área urbana. Todo este pacote está assentado sobre a Formação Teresina (Grupo Passa Dois), caracterizada como uma sucessão predominantemente pelítica, representada por camadas de argilitos e siltitos argilosos com intercalações frequentes de camadas de calcários, às vezes oolíticos, e de arenitos muito finos, depositados em ambiente litorâneo de águas rasas, sob influência de maré. Na região estudada, a Formação Teresina encontra-se aflorante na Estrutura de Piratininga, a sudoeste de Bauru (PAULA E SILVA; CAVAGUTI, 1994). Em Bauru, as unidades hidroestratigráficas do SAG estão representadas pelas formações Botucatu e Pirambóia, e a do SAB à Formação Adamantina.

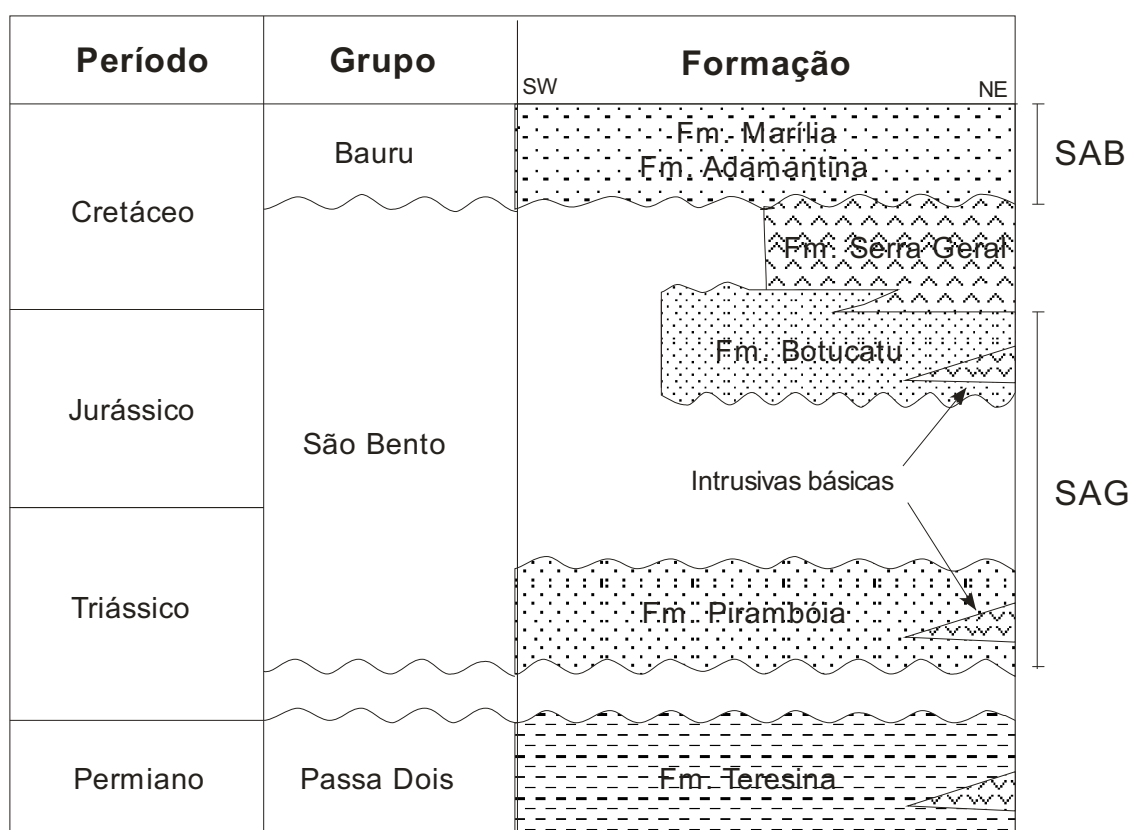


Figura 3.4 - Coluna estratigráfica da área de estudo

A figura 3.5 apresenta um mapa da geologia de superfície e de subsuperfície da área urbana de Bauru, e a figura 3.6 apresenta uma seção geológica esquemática da área, extraída de Paula e Silva e Cavaguti (1994). Estas figuras

foram elaboradas com base em descrições litológicas e perfis geofísicos de poços tubulares da área, associados às descrições litológicas dos perfis destes poços. Por esta seção (Figura 3.6) é possível observar a base predominantemente pelítica do Grupo Bauru e a discordância com o Grupo São Bento (Formações Serra Geral, Botucatu e Pirambóia). Já pelo mapa de subsuperfície, observam-se as formações em contato direto com o Grupo Bauru em planta (Figura 3.5).

Essa discordância é resultado do soerguimento que deu origem ao Alto de Piratininga e que afetou as rochas do Grupo São Bento, expondo-as à erosão pré Bauru. (PAULA E SILVA; CAVAGUTI, 1994). Este soerguimento foi responsável por variações notáveis de espessura no pacote Botucatu/Pirambóia, além da exclusão total das rochas basálticas em algumas partes da cidade (PAULA E SILVA; CAVAGUTI, 1994).

A presença dos basaltos da Formação Serra Geral, nesta área, está restrita à porção nordeste da cidade de Bauru, nos demais setores os sedimentos do Grupo Bauru estão assentados diretamente sobre as rochas sedimentares do Grupo São Bento.

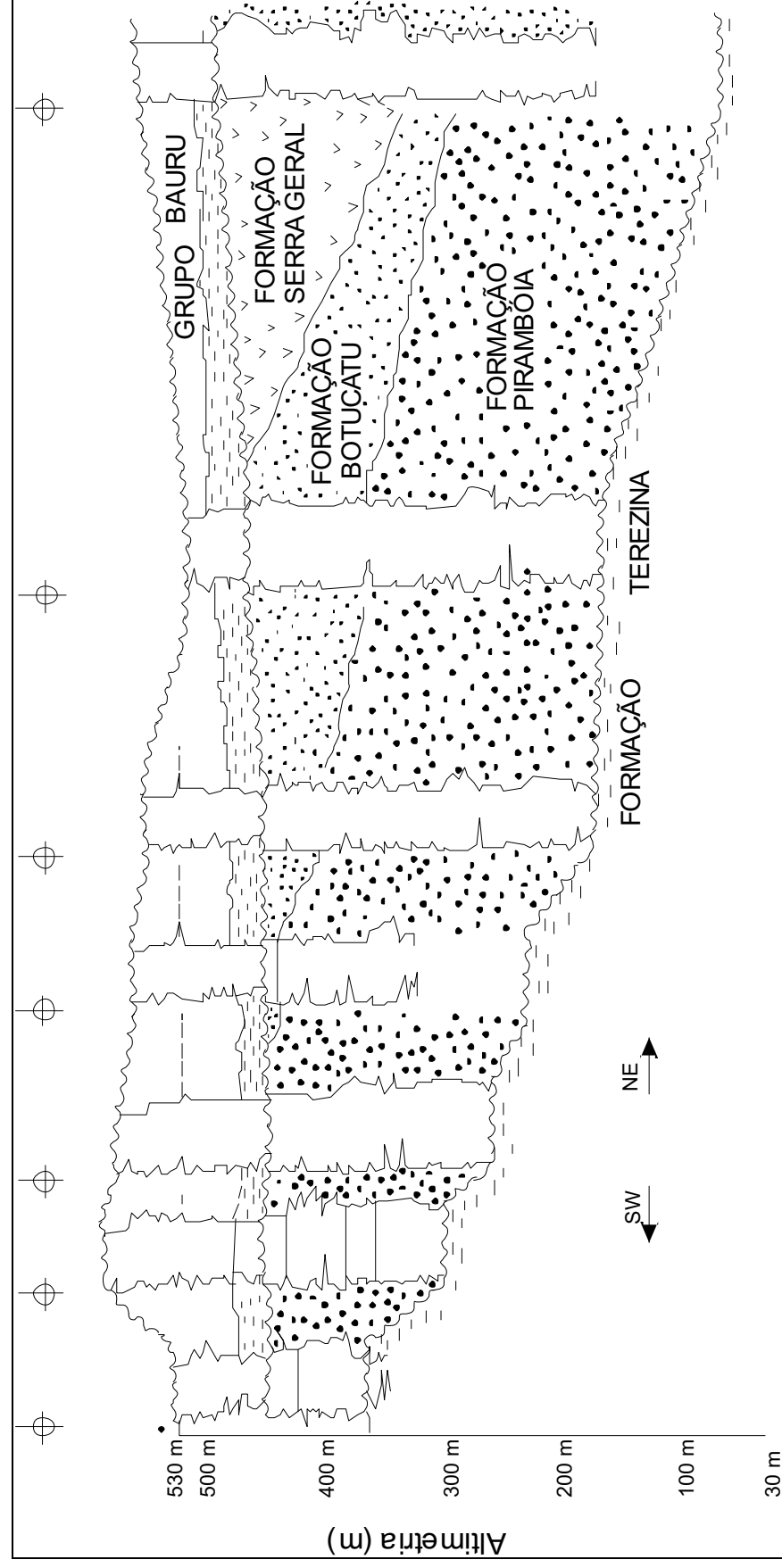


Figura 3.5 – Seção geológica esquemática da área urbana de Bauru (modificado de Paula e Silva e Cavaguti, 1994).

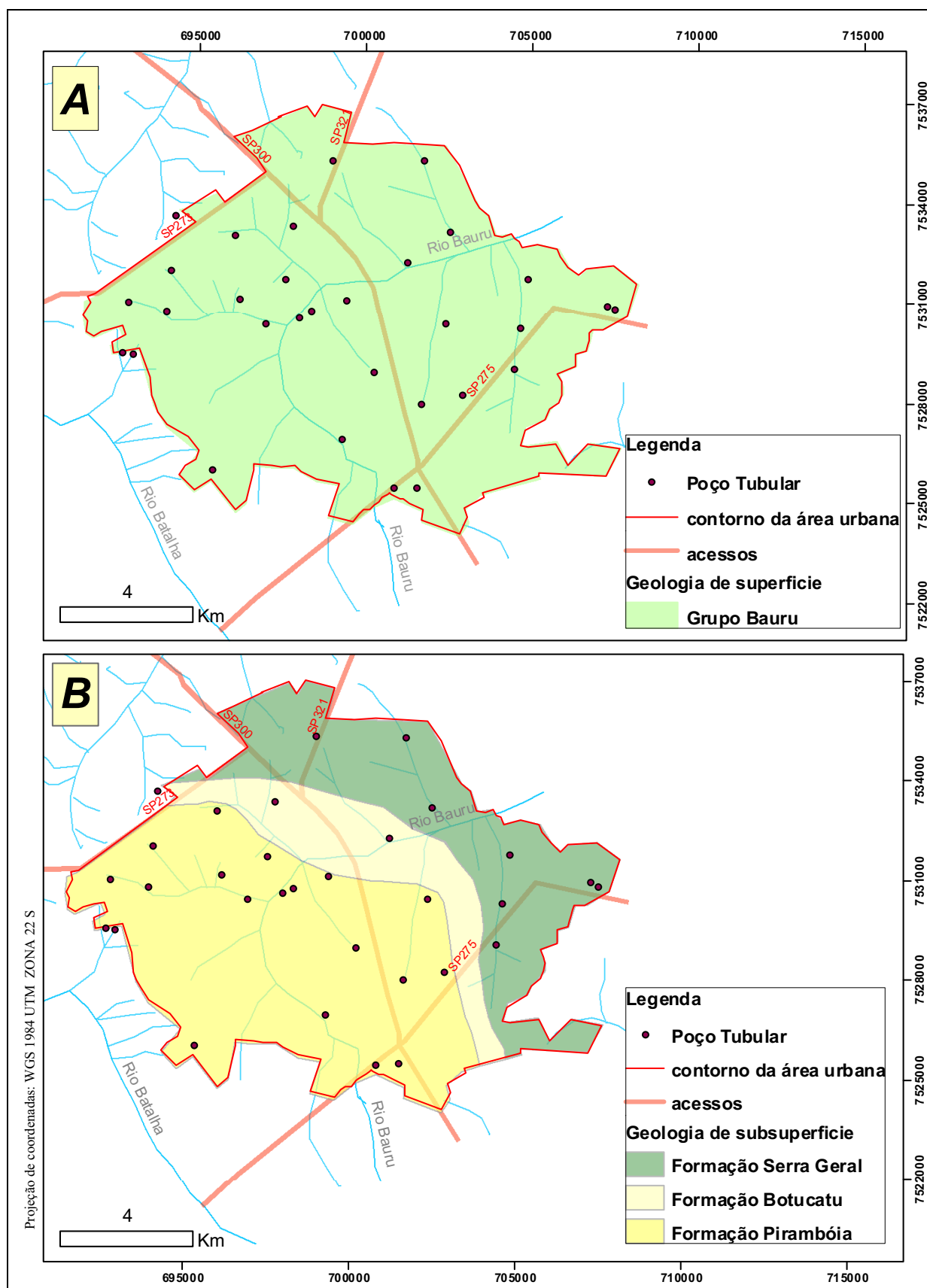


Figura 3.6 - A. Mapa geológico na área urbana do município de Bauru; **B.** Geologia de subsuperfície com as unidades litoestratigráficas do Grupo São Bento, sotopostas ao Grupo Bauru.

3.1 Grupo São Bento

O Grupo São Bento é composto pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, depositados entre o Triássico e o Cretáceo. A Formação Pirambóia tem sido considerada por muitos autores como do Triássico, embora não haja dados paleontológicos concretos para tal. A Formação Botucatu teve sua sedimentação entre o final do Jurássico e o início do Cretáceo, dadas as relações de interdigitação das rochas da porção superior da unidade com basaltos da Formação Serra Geral.

3.1.1 Formação Pirambóia

Com extensão contínua no estado de São Paulo e espessuras de até 270 m na região de São Pedro (CAETANO-CHANG; WU, 2006), a Formação Pirambóia, conforme definição de Soares (1975), compreende uma sucessão predominantemente arenosa, de granulação fina a média, teor de argila crescente em direção à base, com ocorrência local de arenitos grossos a conglomeráticos e presença de intercalações pouco espessas de lamitos avermelhados, mais frequentes nas porções basais.

O ambiente deposicional é interpretado como eólico úmido, com fácies de ambiente fluvial (CAETANO-CHANG, 1997) ou como eólico úmido com fácies fluvial e costeira (DONATI et al., 2001; GIANNINI, 2004 e GESICKI, 2007). Tem como embasamento, na área de estudo, a Formação Teresina (Grupo Passa Dois).

A natureza do contato entre o Grupo Passa Dois e a Formação Pirambóia tem diferentes interpretações. No topo do Grupo Passa Dois (Formação Teresina/Corumbataí) a presença de fácies de ambiente costeiro com pseudo-brechas do Grupo Passa Dois, seguido de discordância, tem levado diferentes pesquisadores a interpretar esta fácies como de transição, entre a deposição dos sedimentos marinhos do Grupo Passa Dois e a Formação Pirambóia (FULFARO E BÓRIO, 1968; MATOS, 1995), ou como pertencente às formações do Grupo Passa Dois, caracterizando um contato erosivo (CAETANO-CHANG, 1997; SOARES 1975).

A porção superior da Formação Pirambóia foi caracterizada como fácies de canais entrelaçados, com presença de arenitos médios a grossos, atribuídos a *sheefloods*, e arenitos conglomeráticos, atribuídos a leques aluviais (CAETANO-CHANG, 1997; GIANNINI, 2004) depositados durante fase de tectônica intensa. A Formação Pirambóia apresenta uniformidade textural e mineralógica, matriz secundária composta por argilas infiltradas, cimentação por óxidos de ferro, argilominerais e calcita, recrescimentos de quartzo e feldspato, e até 10% de feldspatos detríticos, Wu e Caetano-Chang (1992). A presença de minerais metaestáveis (estauroлита, granada e epidoto) nas assembléias minerais indica a condição de clima árido e ambiente desértico durante a deposição (GESICKI, 2007; WU; CAETANO-CHANG, 1992).

A argila detrítica, mecanicamente infiltrada, tem composição original predominantemente esmectítica e interestratificados de clorita-esmectita e illita-esmectita diagenéticos (CAETANO-CHANG, 1997).

Com porosidade que varia de 12 a 35%, foi verificado por Gesicki (2007) no horizonte abaixo do contato com os arenitos Botucatu, cimentação intersticial preferencial de calcita e baixa porosidade (2 a 10%). As maiores porosidades observadas resultam dos processos de dissolução de cimento na meso e telodiagênese que geraram *oversized pores* (CAETANO-CHANG, 1997; CAETANO-CHANG; WU, 2006).

Na região de Bauru, Paula e Silva (2003) descreveu, com base em perfis geofísicos de poços, quatro litofácies, do topo para a base: fácies de arenitos avermelhados, finos a grossos; fácies de arenitos grossos a conglomeráticos; fácies de arenitos amarelados médios; e fácies de arenitos vermelhos argilosos (Figura 3.7.).

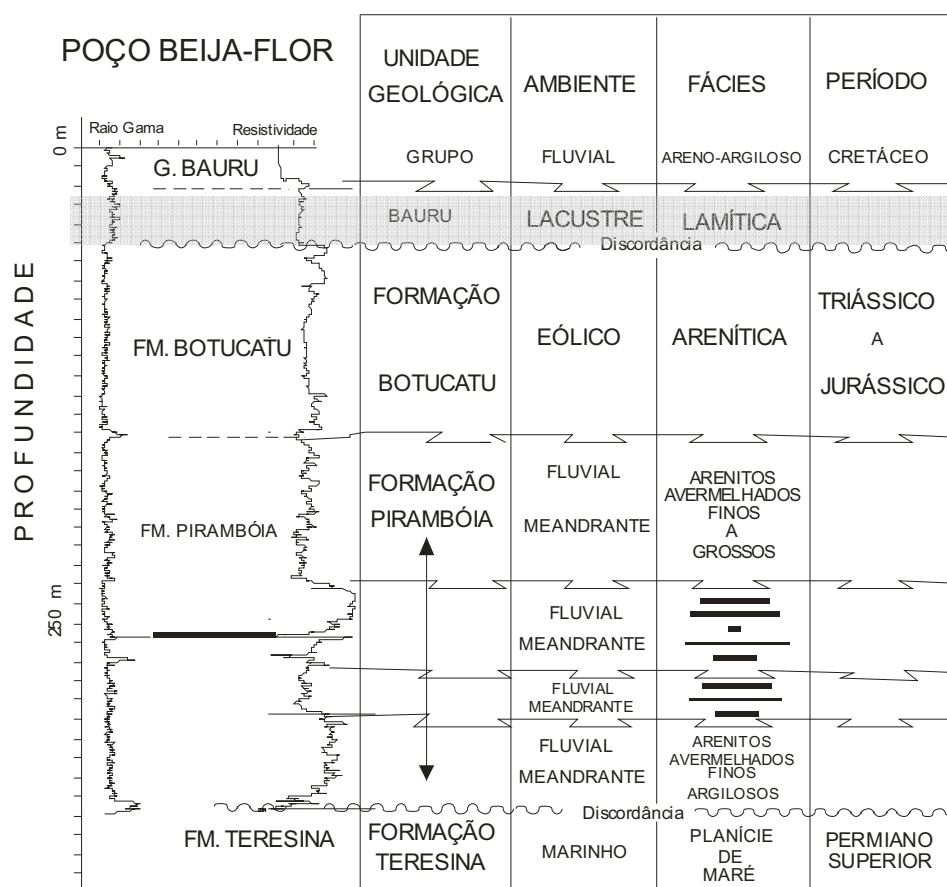


Figura 3.7 - Perfil geofísico em poço da área urbana de Bauru. (fonte: Cavaguti e Paula e Silva, 1992). Destaque em cinza claro para a camada basal do Grupo Bauru que se apresenta pelítica.

3.1.2 Formação Botucatu

A Formação Botucatu, conforme definição de Soares (1975), compreende um pacote de arenitos avermelhados, muito finos a finos, friáveis, quartzosos, bem arredondados, bem selecionados, de origem eólica, com três fácies características: torrencial, lacustre e eólica. A torrencial é constituída de arenitos conglomeráticos depositados por *wadis*, sendo mais comum na parte basal da unidade. A lacustre é constituída por lamitos arenosos, siltitos e arenitos lamíticos, ocorrendo mais frequentemente na parte superior da formação e entre os primeiros derrames de basalto. Em estudo realizado por Gesicki (2007) os arenitos foram caracterizados como finos a médios.

Segundo Suguio et al. (1974), Wu e Caetano-Chang (1992) e Gesicki (2007) a Formação Botucatu é composta principalmente por quartzo-arenitos com alta

maturidade textural e mineralógica, sendo comum a cimentação por óxido-hidróxidos de ferro, esmectita e calcita. Giannini (2004) descreveu fácies de campos de dunas secas com arenitos finos a muito finos e tendência sutil de afinamento, da base para o topo da unidade. Esta formação apresenta o topo contemporâneo aos derrames basálticos da Formação Serra Geral, com o qual apresenta interdigitações.

Os principais componentes diagenéticos são cutículas argilo-ferruginosas, esmectita neoformada, cimento de quartzo e feldspato com presença localizada de cimento de opala, calcedônia e calcita (GESICKI, 2007). Nas áreas próximas de afloramentos foi observada a presença de caulinita autigênica, opala e calcedônia. Em porções mais profundas do aquífero (>1000m), tem-se a redistribuição da porosidade secundária, com substituição parcial de feldspato por argilominerais (sericitização).

Esta formação possui porosidade variável de 0 a 25% (GIANNINI, 2001). Em Bauru, Gesicki (2007) identificou, em amostras de subsuperfície, baixa porosidade (variável de 1,2% a 11%), devido à intensa cimentação intersticial por carbonato (22,7% a 35,9%). Em perfilações geofísicas, Paula e Silva e Cavaguti (1994) observaram para a Formação Botucatu uniformidade litológica, baixo conteúdo de argila e presença de fácies de dunas eólicas.

3.1.3 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral constitui uma sucessão de derrames basálticos e de magmatitos intrusivos associados à ruptura do continente gondwânico, com idades entre 115 e 135 Ma (ROCHA-CAMPOS et al., 1984) e composição predominantemente toleítica e andesítica, com ocorrências subordinadas de riolitos e riodacitos (PEATE et al., 1992). Sua área de afloramento, com 38.600 km², está entre os limites aflorantes da Formação Botucatu e ao longo dos vales dos afluentes do rio Paraná, principalmente na porção centro-norte do estado.

A porção não aflorante está recoberta pelos sedimentos do Grupo Bauru e formações cenozóicas. Regionalmente, sua espessura aumenta de leste para oeste, até atingir valores da ordem de 1.500 metros na confluência dos rios Paraná e Paranapanema (PAULA E SILVA; CAVAGUTI, 1994).

3.2 Grupo Bauru

Após o extravasamento dos derrames basálticos da Formação Serra Geral (Cretáceo inferior) houve um período de subsidência termo-mecânica da porção setentrional da Bacia do Paraná. A deposição do Grupo Bauru teve início no Cretáceo Superior, em ambiente árido e semi-árido (FERNANDES, 1992). A litologia dominante nesta unidade é representada por arenitos, classificados predominantemente como quartzo arenitos e, secundariamente, como sublitarenitos, subarcóseos e litoarenitos (BARISON, 2003; STRADIOTO, 2007). O Grupo Bauru ocupa aproximadamente a metade oeste do território do estado de São Paulo, com área aproximada de 97.000 km².

O estudo das litofácies por meio de descrição faciológica e estudos geofísicos de subsuperfície, tem mostrado grande variabilidade dos depósitos sedimentares do Grupo Bauru, gerando redefinições de formações ou a proposição de novas unidades. A primeira subdivisão formal foi feita por Soares et al. (1980), na qual o Grupo Bauru foi descrito como composto pelas formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília, no estado de São Paulo, Fernandes (1992) subdividiu o pacote sedimentar em Grupos Caiuá (Formações Goio Erê, Rio Paraná e Santo Anastácio) e Bauru (Formações Adamantina, Marília e Uberaba e analcimitos Taiuva). Posteriormente, Fernandes (1998) subdividiu o Grupo Bauru nas Formações Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília e Uberaba. Com base em perfilagens geofísicas de poços devidamente correlacionados a perfis de superfície, Paula e Silva (2003) propôs a manutenção da subdivisão proposta por Soares et al. (1980), e incluiu 2 novas unidades: Formação Pirapozinho e Formação Birigui.

Neste trabalho foi adotada a subdivisão litoestratigráfica proposta por Paula e Silva (2003) para o Grupo Bauru, distinguido localmente pelas formações Marília, superior, e Adamantina, inferior, ponderando ainda que o pacote lamítico presente na base desta última unidade corresponda à Formação Araçatuba.

3.2.1 Formação Adamantina

Segundo Soares et al. (1980), a Formação Adamantina é composta por um conjunto de fácies cuja principal característica é a presença de bancos de arenitos com espessuras que variam de 2 a 20 metros, granulação fina a muito fina, com variabilidade regional, e conjuntos litológicos distintos mais ou menos localizados. Esses arenitos exibem estratificação cruzada e se alternam com camadas de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos com acamamento plano paralelo e frequentes marcas onduladas e microestratificações cruzadas.

Brandt Neto (1977), Campos (1987) e Barison (2003) descreveram a presença dos minerais estáveis turmalina, estauroлита, granada e zircão na assembléia mineralógica. Segundo Brandt Neto (1984), os argilominerais do Grupo Bauru, na região centro-norte do estado, variam qualitativamente e quantitativamente na sequência vertical e no topo da Formação Adamantina; com o incremento dos níveis de arenitos mais carbonáticos (nodulares), desaparecem totalmente as caulinitas, passando a ocorrer, em associação com o cimento carbonático, o argilomineral paligorskita. Barison (2003) descreveu em amostras de arenitos carbonáticos das formações Adamantina e Marília, argilominerais do tipo paligorskita, analcima, além de cimentação autigênica de sílica, provavelmente relacionados ao magmatismo alcalino.

Na formação Adamantina, os feldspatos se apresentam em quantidades sempre inferiores a 12%, cuja porcentagem média estimada é de 1,8% (BARISON, 2003). São constituídos principalmente por ortoclásio, microclínio e plagioclásio, e apresentam-se desde inalterados até totalmente alterados. É verificada a dissolução com *coatings* de montmorilonita, incluindo porosidade móldica com recobrimento por argilominerais, dentre os quais montmorilonita e illita.

Segundo Barison (2003), a matriz, constituída predominantemente por argilominerais do tipo caulinita, illita e montmorilonita, na região sul do rio Tietê, corresponde a aproximadamente 20% da rocha. Em estudos de Stradioto (2007), na região sudoeste do estado de São Paulo, a matriz corresponde a menos de 10%.

A presença de caulinita autigênica tem ampla distribuição, com preenchimento de poros secundários e recobrimento de grãos. É comum a associação com a cimentação ferruginosa (Campos, 1987).

A unidade apresenta padrão granulométrico em *fining upward* e eventuais terminações em sedimentos pelíticos, compondo unidades cíclicas menores, e padrão granulométrico geral em *coarsening upward*, sugestivos de sedimentação fluvial em canais meandantes (PAULA E SILVA; CHANG; CAETANO-CHANG, 2005).

3.2.2 Formação Marília

A Formação Marília é composta pelos membros Serra da Galga, Ponte Alta e Echaporã. Está sobreposta à Formação Adamantina por contato interdigitado e abrupto, e é composta por arenitos grossos a conglomeráticos, com teor de matriz variável e raras camadas de lamitos vermelhos e calcários (SOARES et al. 1980). Em subsuperfície, tem composição predominantemente arenosa com intercalações de material pelítico (PAULA E SILVA 2003). Foi depositada em ambiente de leque aluvial, segundo Soares et al. (1980), Fernandes (1992, 1998) e Paula e Silva (2003).

Na área de estudo aflora o Membro Echaporã. Os membros Serra da Galga e Ponte Alta ocorrem apenas no Triângulo Mineiro (MG), no noroeste da Bacia do Paraná.

Membro Echaporã

Com espessuras de até 180 m (ALMEIDA et al. 1980), o Membro Echaporã é constituído por arenitos finos a médios e imaturos, que podem apresentar frações grossas e grânulos em quantidades subordinadas, sobretudo nas zonas marginais de sua área de ocorrência. Os argilominerais mais comuns são illita e esmecticta (FERNANDES, 1992). Na área de estudo apresentam contatos graduais e interdigitados com a Formação Adamantina.

A associação de litofácies indica que a deposição ocorreu em partes distais de leques aluviais, por fluxos em lençol, com intervalos de deposição em que se formaram pavimentos detríticos e calcretes pedogenéticos. A imaturidade textural e mineralógica destes depósitos sugerem o predomínio de transporte por fluxos densos, assim como relativa proximidade da borda original da bacia (FERNANDES, 1998, GARCIA; ROSA; GOLDENBERG, 2005).

Em estudos petrográficos realizados por Fernandes (1992) e Barison (2003), foram observados processos de dissolução de feldspatos potássicos com geração de argilominerais do tipo montmorilonita, que gradam para illita; também foi identificada a presença de paligorskita.

3.3 Hidroquímica

Como parte do ciclo hidrológico, a água subterrânea tem sua origem relacionada à infiltração de águas meteóricas e fluviais nas zonas de recarga. A principal zona de recarga do Sistema Aquífero Guarani no estado de São Paulo está localizada em sua porção centro-leste (Figura 3.2), e a do Sistema Aquífero Bauru, em toda a área aflorante das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru (Figura 3.3).

As principais reações químicas nos sistemas aquíferos do município referem-se à interação entre a rocha percolada e a água meteórica atual (BARISON, 2003), para o Sistema Bauru, e a água meteórica de até 13.000 anos ATP (PORTUGAL, 2007), para o Sistema Aquífero Guarani, no estado de São Paulo.

Os resultados obtidos por Barison (2003), em amostra de água de chuvas coletada próximo à cidade de Bauru em 2002, em época de elevada precipitação pluviométrica (janeiro), é apresentado na tabela 3.2. Esses dados mostram que a água da chuva local é cloretada, com pH ácido e baixa condutividade elétrica.

Tabela 3.2 - Cátions e ânions em amostra de água de chuva.

Amostra	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ²⁺	pH	CE	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		μS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Chuva-01*	0,12	0,11	0,02	0,19	5,83	3,8	1,03	0,95	0,007	0,16	<0,1

*.: amostra de água de chuva coletada em ponto de amostragem próximo à cidade de Bauru, em janeiro de 2002 (BARISON, 2003).

3.3.1 Sistema Aquífero Guarani

As águas do SAG foram classificadas por Silva (1983) como bicarbonatadas cálcicas a bicarbonatadas sódicas. A partir de dados do DAEE, a autora concluiu que a evolução química destas águas, desde regiões aflorantes até as áreas de maior confinamento, está relacionada a fenômenos de trocas de base, tempo de residência prolongado e aumento da temperatura, tendo identificado 3 (três) fácies hidroquímicas diferenciadas em relação à distância da zona de recarga e à profundidade do aquífero:

- predomínio de águas bicarbonatadas magnesianas e calco-magnesianas;
- águas bicarbonatadas cálcicas a cálcio-magnesianas e;
- águas bicarbonatadas sódicas.

Meng e Maynard (2001), a partir de análise estatística das concentrações químicas apresentadas por Silva (1983), subdividiram o SAG em 3 grupos de águas subterrâneas, relacionadas à proximidade da área de afloramento ou à profundidade do aquífero. Para os autores, os componentes químicos dominantes em cada grupo são:

- SiO_2 para as águas do Grupo A (área de afloramento);
- Ca^{2+} e HCO_3^- para as águas do Grupo B (área intermediária);
- Na^+ , CO_3^{2-} e SO_4^{2-} para as águas do Grupo C (área confinada).

A localização das amostras, identificadas em relação aos grupos **A**, **B** e **C**, é apresentada na figura 3.8.

A concentração de bicarbonato e os índices de saturação da calcita, dolomita e calcedônia indicam área de lixiviação/alteração de feldspatos na área de afloramento, enquanto que na área confinada, indicam a precipitação de carbonato. Estes dados são confirmados em estudos petrográficos realizados em amostras de rocha das formações Pirambóia e Botucatu, por Caetano-Chang (1997) e Gesicki (2007).

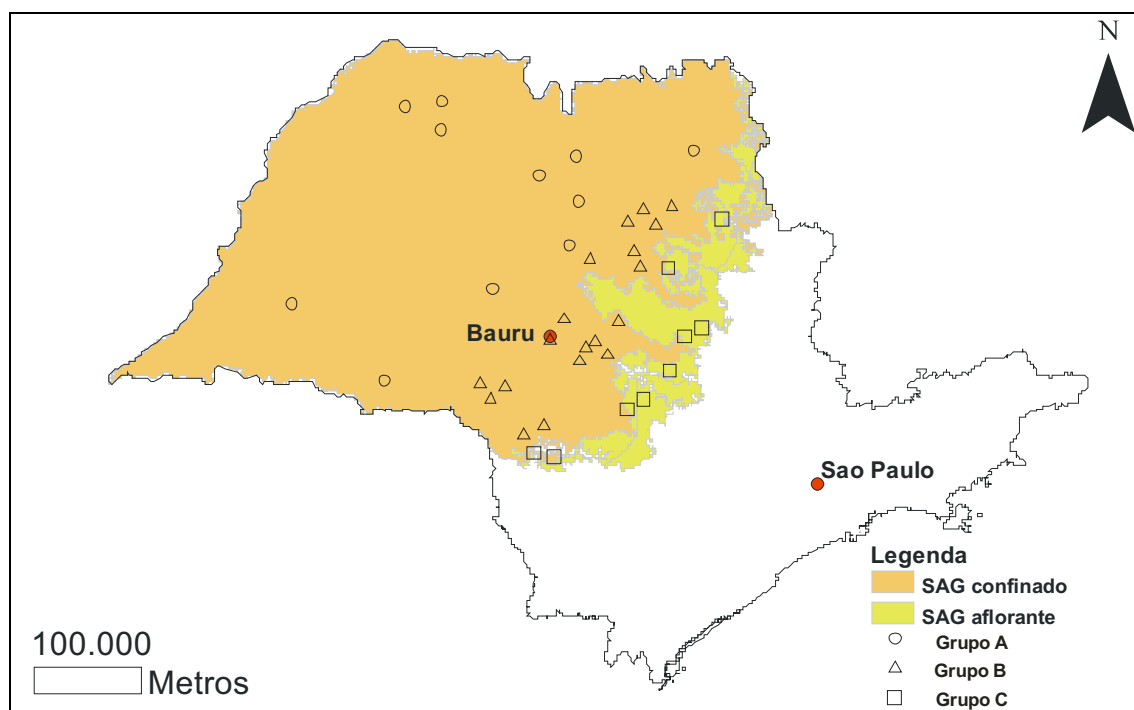


Figura 3.8 – Grupos A, B e C definidos por Meng e Maynard (2001), em estudo estatístico

As concentrações de Cl^- , SO_4^{2-} , pH e Na aumentam com o aumento da profundidade e o grau de confinamento do aquífero (SRACEK; HIRATA, 2002). Essas variações, segundo Sracek e Hirata (2002), estão associadas a reações de troca catiônica do Ca^{2+} pelo Na^+ , reações de hidrólise e dissolução de evaporitos da porção basal da Formação Pirambóia, conforme identificadas em modelagem hidrogeoquímica.

Gastmans (2007), em estudos na porção meridional do SAG no estado de Mato Grosso do Sul identificou com base no quadro hidrodinâmico da área, 03 zonas hidroquímicas das águas do SAG implantadas por mecanismos e processos geoquímicos distintos:

- na zona de recarga e de baixo grau de confinamento, as águas subterrâneas são principalmente bicarbonatadas cálcicas ou cálcio-magnesianas, saturadas em sílica;
- na zona de confinamento moderado, há enriquecimento em sódio, empobrecimento em cálcio, e as águas começam a ficar em equilíbrio termodinâmico com as montmorilonitas sódicas e apresentam saturação em calcita;

- na zona de maior confinamento, ocorre o enriquecimento em sódio, cloreto e sulfato, este último subordinado, com águas insaturadas em calcedônia, cuja composição deve-se a misturas de águas salinas provenientes de formações posicionadas abaixo do SAG.

Meng e Maynard (2001) e Gastmans (2007) identificaram maiores concentrações dos íons $\text{Ca} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Na}$ e de $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$, no sentido das áreas de recarga para as áreas mais profundas no SAG.

A CETESB realiza a coleta de água subterrânea em uma rede de monitoramento selecionada no estado de São Paulo para avaliação da qualidade da água subterrânea de diversos aquíferos. Segundo o relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo (CETESB, 2007) a URGHI 13 (Tiête e Jacaré), apresentou para a água subterrânea de poço amostrado no município de Bauru, concentração de N-nitrato de 11,7mg/L (março de 2004), associada a ação antrópica. Esta concentração, contudo, não foi obtida nas campanhas posteriores realizadas em 2005 e 2006.

3.3.2 Sistema Aquífero Bauru

Para as águas do Sistema Aquífero Bauru, Rocha et al. (1982) propuseram uma subdivisão em duas unidades hidrogeológicas distintas, uma caracterizada como fortemente bicarbonatada cálcica a cálcio-magnesiânica, correspondente às formações Adamantina e Marília, e outra fracamente bicarbonatada cálcio-magnesiânica, correspondente às formações Santo Anastácio e Caiuá. Foram verificados também, por estes autores, teores salinos elevados fortemente cálcicos, associados aos domínios geomorfológicos dos planaltos e espigões que são, via de regra, áreas de ocorrência dos arenitos da parte superior da Formação Adamantina e da Formação Marília. A evolução hidrogeoquímica $\text{Ca} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Na}$, de montante para jusante, é observada nos principais rios interiores que cortam rochas do Grupo Bauru.

Campos (1987), Coelho (1996) e Barison (2003) confirmaram os dois tipos hidroquímicos relacionados às unidades estratigráficas, com teores salinos baixos, marcados fortemente pela presença dos íons HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Estes íons apresentam forte correlação com os valores de pH e condutividade elétrica e com a

evolução hidrogeoquímica regional no sentido nordeste para sudeste, acompanhando a resultante dos fluxos da água subterrânea para a confluência dos rios Paraná e Paranapanema.

DAEE (1976), em estudos sobre a água subterrânea das regiões de Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba (na porção noroeste do estado), identificou 2 grupos principais, segundo os diagramas de Schoeller-Berkaloff :

- ✓ $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ e $\text{HCO}_3^- \gg \text{Cl}^-$ – porção superior (bicarbonatadas cálcicas secundariamente magnesianas e/ou sódicas);
- ✓ $\text{Na}^+ > \text{Ca}^+ > \text{Mg}^{2+}$ e $\text{HCO}_3^- \gg \text{Cl}^-$ – aquíferos mais profundos com enriquecimento em sódio (bicarbonatadas sódicas secundariamente cálcicas).

Campos (1987) identificou, nas formações do Grupo Bauru, o cimento calcita como principal fonte para HCO_3^- e Ca^{2+} , a montmorilonita e a paligorsquita, como fontes secundárias de Ca^{2+} e Mg^{2+} ; e rochas basálticas, como fonte de Na^{2+} e, quando ricas em piroxênio, fonte de Mg^{2+} .

No estudo de Barison (2003), as razões das concentrações iônicas obtidas para o aquífero foram:

- ✓ Formação Adamantina: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{F}^-$ e $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$;
- ✓ Formação Marília: $\text{HCO}_3^- > \text{F}^- > \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$.

Em análises de amostras de água provenientes de diversos poços tubulares instalados no SAB, no município de Bauru, tem sido verificada, para aqueles instalados no Sistema Aquífero Bauru, a influência antrópica, notadamente pelas concentrações de nitrato acima dos valores estipulados na Portaria 518/04 do Ministério da Saúde (GIAFFERIS; OLIVEIRA, 2006, 2007).

Rocha et al. (1982) verificaram evolução hidrogeoquímica do SAB, no sentido dos principais rios interiores, de $\text{rCa}^{+2} \rightarrow \text{rMg}^{+2} \rightarrow \text{rNa}^+$.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Foram analisadas 51 amostras de água subterrânea de poços tubulares do município de Bauru, para caracterização e modelagem conceitual da hidrogeoquímica dos sistemas aquíferos Bauru e Guarani. Destes poços, tendo por base os perfis descritivos e construtivos, 29 captam água do Sistema Aquífero Guarani, 20 do Sistema Aquífero Bauru e 02 do Aquífero Serra Geral. Dentre os poços que captam água do SAB, 01 poço está localizado no distrito de Tibiriçá, que tem aproximadamente 700 habitantes (IBGE, 2007).

Pelos perfis construtivos analisados, não há mistura entre os dois sistemas aquíferos dentro de um poço, através da seção filtrante. Os poços que captam água do SAB possuem espessuras das formações do Grupo Bauru entre 38 e 193 metros; aqueles que foram instalados no SAG possuem espessuras das formações Botucatu e/ou Pirambóia entre 18 e 312 metros, e os poços que captam água do aquífero Serra Geral possuem espessura da Formação Serra Geral de 172 a 187 metros.

A partir de dados disponibilizados, observa-se que a profundidade dos poços tubulares para um mesmo aquífero não é representativa de um mesmo nível, já que os poços estão a diferentes profundidades e apresentam diferentes espessuras das formações correspondentes. Não é objeto deste estudo a avaliação de possível estratificação hidroquímica nos aquíferos, ainda que a partir dos resultados obtidos possam ser feitas algumas considerações. Outro fator limitante ao estudo é a falta de dados do nível de água estático dos poços tubulares, já que se apresentavam em bombeamento. Os dados referentes ao nível estático, obtidos para o presente estudo, são da época da instalação dos poços e nem todos os documentos de outorga apresentam esta informação. Alguns valores de carga hidráulica, obtidos a partir de dados da cota topográfica e do NE (nível estático da água) de poços tubulares de Bauru, em pesquisa realizada no acervo do DAEE de Araraquara e DAE e Bauru, são apresentados na figura 4.1. A partir destes valores, observa-se que as cargas hidráulicas dos poços tubulares instalados no SAG (profundidade do nível da água entre 60 e 120m) apresentam-se menores que os instalados no SAB (profundidade do nível da água entre 11 e 40m), ainda que estes dados não sejam atualizados (1976 a 1999).

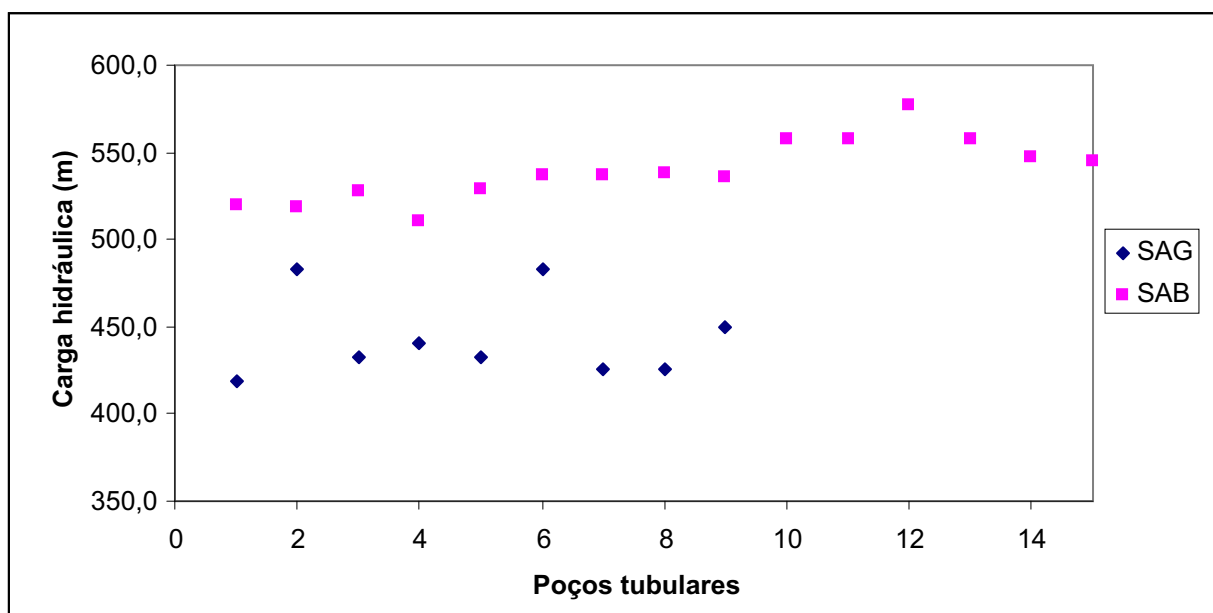


Figura 4.1 – Carga hidráulica mensurada à época da instalação dos poços a partir de pesquisa no DAEE-Araraquara em 2008, para alguns poços instalados no município de Bauru, no SAG e no SAB

A relação dos poços, incluindo os dados de profundidade e geologia, está inserida no Anexo I.

As amostras coletadas do SAG foram identificadas com a numeração de 1001 a 1009, 1011, 1012, 1014 a 1026, 2017; 2018, 2024. As amostras do SAB apresentam-se identificadas com a numeração 1010, 2001 a 2016, 2019 a 2023. A amostra 1010 foi retirada de poço no distrito de Tiberiça. Duas amostras foram coletadas do Aquífero Serra Geral (1013 e 2025). A identificação dada às amostras não tem correlação com o proprietário do poço, sendo estes mantidos sob sigilo.

A figura 4.2 apresenta a localização em planta dos poços tubulares utilizados nesta pesquisa; nesta figura, os poços que com seção filtrante no SAG e no SAB estão apresentados em mapas distintos.

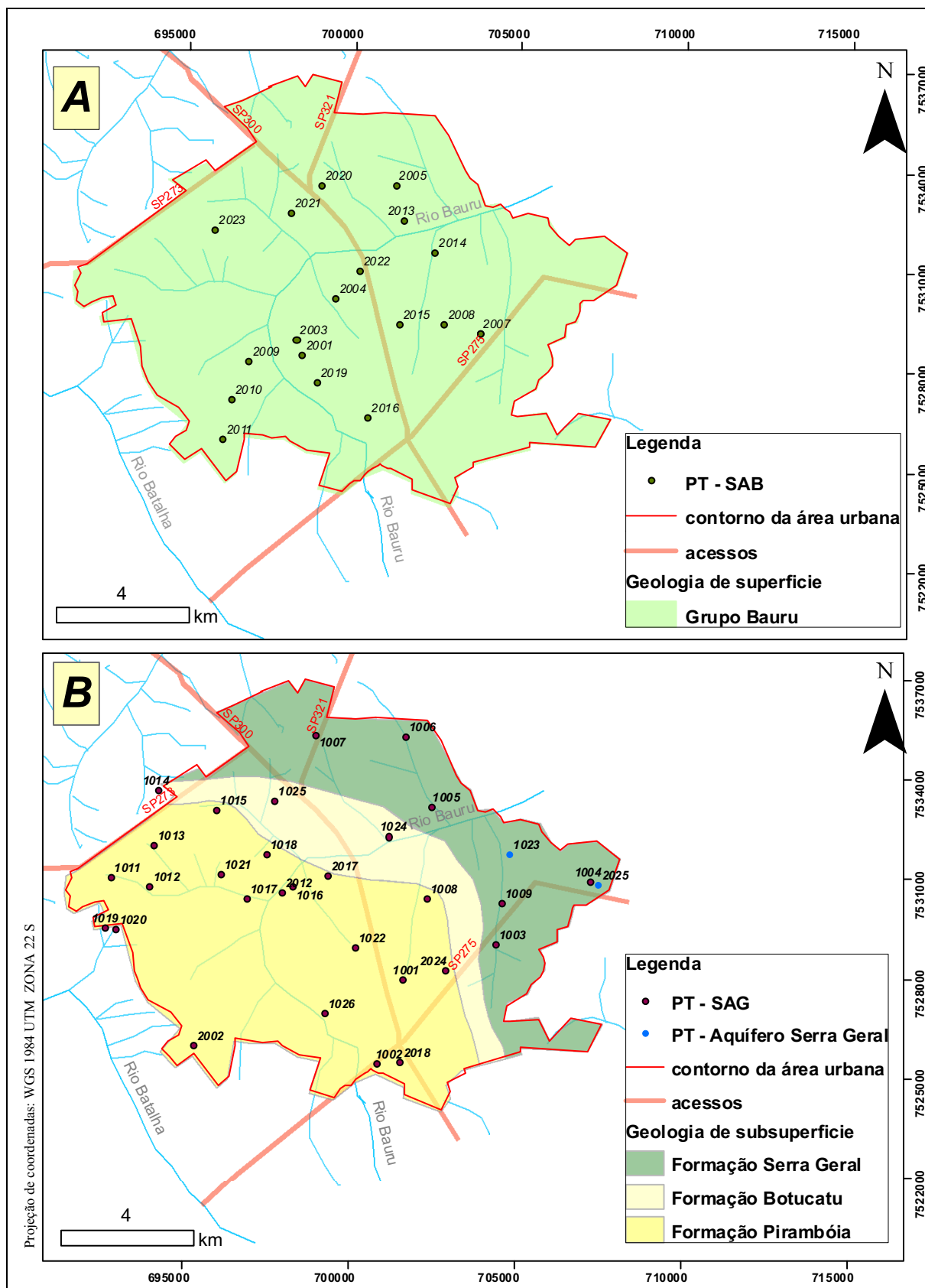


Figura 4.2 – Localização dos poços tubulares amostrados. Mapa **A**: Localização dos poços tubulares com seção filtrante no SAB. Mapa **B**: Localização dos poços tubulares com seção filtrante no SAG e Aquífero Serra Geral.

4.1 Análise estatística

A utilização de métodos estatísticos teve como objetivo a identificação de grupos com diferentes características hidroquímicas.

A estatística multivariada foi utilizada para determinar a possível existência de amostras que pudessem ser agrupadas estatisticamente, com base em aspectos/variáveis geológicos. Esta técnica é utilizada para verificação de possível similaridade entre indivíduos (modo Q) ou entre variáveis (modo R), definindo-os em grupos. Quando as similaridades são avaliadas entre indivíduos (modo Q), são consideradas simultaneamente todas as variáveis medidas em cada indivíduo, (LANDIM, 2006). Desta forma, é feita uma avaliação da correlação entre os diferentes parâmetros analisados para verificar indícios de misturas de águas, dissolução de minerais; troca catiônica; efeito de íon comum, entre outros. Diversos estudos já utilizaram este método para classificação de amostras de água, tais como Guler e Thyne (2004), Meng e Maynard (2001), Vidal e Chang (2002).

Na presente pesquisa, foram utilizados dois métodos de estatística multivariada: a análise de agrupamentos e a análise de componentes principais, com o auxílio do aplicativo XLSTAT, versão 7.5.2.

Com a análise de agrupamentos (*cluster analysis*) foi gerado um gráfico (dendrograma) para auxiliar na identificação de grupos de amostras ou variáveis no conjunto amostral. Na análise de componentes principais, a variabilidade encontrada entre os diferentes grupos foi identificada pela relação existente entre as componentes (vetores) e as diferentes variáveis, com a transformação linear de 'm' variáveis em 'n' novas variáveis (DAVIS, 1986). Assim, o agrupamento das diferentes amostras utiliza-se de variáveis com diferentes graus de representatividade (diferentes pesos das variáveis em uma matriz de dados multidimensionais), para discriminação entre os diferentes grupos existentes.

A tabela 4.1 apresenta parâmetros de estatística descritiva (média, desvio padrão, máximo e mínimo) para alguns íons maiores, pH, Eh e condutividade elétrica. Observa-se que os valores para bicarbonato (HCO_3^-), sódio (Na^+) e pH são maiores para o SAG, enquanto que o SAB apresenta maiores concentrações para cálcio (Ca^{2+}) e potássio (K^+).

Tabela 4.1 - Parâmetros de estatística descritiva das amostras analisadas.

unidade	parâmetro	Sistema Aquífero Guarani				parâmetro	Sistema Aquífero Bauru			
		mínimo	média	máximo	Desvio Padrão		mínimo	média	máximo	Desvio Padrão
-	pH	5,92	9,18	9,82	0,11	pH	5,29	6,13	7,77	0,09
mV	Eh	154,50	217,40	396,00	0,26	Eh	81,00	226,40	310,70	0,21
uS/cm	CE (25oC)	74,51	137,31	278,59	0,28	CE (25oC)	26,02	116,99	341,91	0,72
mg/L	HCO ₃ ⁻	30,50	76,65	90,40	0,15	HCO ₃ ⁻	4,76	27,10	100,00	0,84
mg/L	Ca ²⁺	0,12	2,59	29,40	1,47	Ca ²⁺	0,57	7,66	25,00	0,76
mg/L	Mg ²⁺	0,01	0,18	7,33	3,07	Mg ²⁺	0,40	1,99	6,21	0,64
mg/L	K ⁺	0,09	0,32	2,35	1,05	K ⁺	1,01	2,44	5,55	0,41
mg/L	Na ⁺	14,60	30,25	60,00	0,27	Na ⁺	0,26	1,77	24,40	1,29
mg/L	Si ⁴⁺	6,89	8,14	9,37	0,08	Si ⁴⁺	7,02	9,82	17,10	0,23

A tabela 4.2 apresenta a correlação, pelo índice de Pearson, entre os íons majoritários nas amostras de água coletadas do Sistema Aquífero Guarani. É observada correlação acima de 0,8 entre o nitrato e cloreto e entre o cálcio e o magnésio. No trabalho de Meng e Maynard (2001), foi observada correlação entre o sulfato, o sódio e o carbonato.

Tabela 4.2 - Correlação de Pearson entre as variáveis das amostras do SAG.

	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	F ⁻	Ba ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Sr	Zn	NO ₃ ⁻	Si ⁴⁺
HCO ₃ ⁻	1,000	-0,095	-0,685	-0,675	0,217	0,062	-0,502	-0,539	-0,618	0,173	0,175	0,017	-0,605	0,174
CO ₃ ⁻	-0,095	1,000	0,054	-0,206	-0,101	0,105	-0,402	-0,269	-0,290	0,694	-0,547	0,233	-0,231	0,578
SO ₄ ⁻	-0,685	0,054	1,000	0,862	-0,196	0,074	0,694	0,812	0,836	-0,118	-0,236	-0,002	0,770	0,250
Cl ⁻	-0,675	-0,206	0,862	1,000	-0,215	0,145	0,920	0,866	0,981	-0,302	0,080	0,180	0,983	0,114
F ⁻	0,217	-0,101	-0,196	-0,215	1,000	-0,230	-0,260	-0,153	-0,230	-0,005	-0,215	-0,169	-0,245	0,033
Ba ²⁺	0,062	0,105	0,074	0,145	-0,230	1,000	0,156	0,061	0,148	0,350	0,128	0,586	0,192	0,139
Ca ²⁺	-0,502	-0,402	0,694	0,920	-0,260	0,156	1,000	0,783	0,966	-0,450	0,394	0,188	0,938	0,049
K ⁺	-0,539	-0,269	0,812	0,866	-0,153	0,061	0,783	1,000	0,849	-0,302	-0,027	0,059	0,827	0,085
Mg ²⁺	-0,618	-0,290	0,836	0,981	-0,230	0,148	0,966	0,849	1,000	-0,372	0,214	0,163	0,968	0,117
Na ⁺	0,173	0,694	-0,118	-0,302	-0,005	0,350	-0,450	-0,302	-0,372	1,000	-0,372	0,209	-0,308	0,411
Sr	0,175	-0,547	-0,236	0,080	-0,215	0,128	0,394	-0,027	0,214	-0,372	1,000	0,089	0,172	-0,207
Zn	0,017	0,233	-0,002	0,180	-0,169	0,586	0,188	0,059	0,163	0,209	0,089	1,000	0,274	0,415
NO ₃ ⁻	-0,605	-0,231	0,770	0,983	-0,245	0,192	0,938	0,827	0,968	-0,308	0,172	0,274	1,000	0,120
Si ⁴⁺	0,174	0,578	0,250	0,114	0,033	0,139	0,049	0,085	0,117	0,411	-0,207	0,415	0,120	1,000

A tabela 4.3 apresenta os índices de correlação entre íons das amostras de água subterrânea coletadas do Sistema Aquífero Bauru. É possível verificar forte correlação entre nitrato, cloreto, magnésio, sódio e do cálcio com magnésio e bicarbonato. Ogawa e Campos (1982) identificaram, para as águas do SAB, correlação entre HCO₃⁻, Ca²⁺, e Mg²⁺, no estado de São Paulo.

Tabela 4.3 - Correlação de Pearson entre as variáveis das amostras do SAB.

	HCO ₃	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	F ⁻	Ba ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Sr	Zn	NO ₃ ⁻	Si ⁴⁺
HCO ₃	1,000	0,109	0,056	0,402	-0,171	0,848	-0,437	0,572	0,205	0,579	-0,235	-0,132	0,728
SO ₄ ⁻	0,109	1,000	0,476	-0,107	-0,255	0,253	-0,411	0,270	0,298	0,717	-0,076	0,007	0,029
Cl ⁻	0,056	0,476	1,000	-0,272	0,022	0,547	-0,052	0,765	0,921	0,564	-0,140	0,843	0,024
F ⁻	0,402	-0,107	-0,272	1,000	-0,252	0,226	-0,097	0,059	-0,260	-0,142	-0,144	-0,300	0,288
Ba ²⁺	-0,171	-0,255	0,022	-0,252	1,000	-0,077	-0,020	0,051	0,033	-0,022	0,671	0,226	0,053
Ca ²⁺	0,848	0,253	0,547	0,226	-0,077	1,000	-0,356	0,893	0,618	0,698	-0,250	0,378	0,641
K ⁺	-0,437	-0,411	-0,052	-0,097	-0,020	-0,356	1,000	-0,191	-0,004	-0,470	-0,096	0,268	-0,348
Mg ²⁺	0,572	0,270	0,765	0,059	0,051	0,893	-0,191	1,000	0,754	0,658	-0,176	0,669	0,559
Na ⁺	0,205	0,298	0,921	-0,260	0,033	0,618	-0,004	0,754	1,000	0,590	-0,209	0,826	0,005
Sr	0,579	0,717	0,564	-0,142	-0,022	0,698	-0,470	0,658	0,590	1,000	-0,083	0,198	0,440
Zn	-0,235	-0,076	-0,140	-0,144	0,671	-0,250	-0,096	-0,176	-0,209	-0,083	1,000	-0,075	0,062
NO ₃ ⁻	-0,132	0,007	0,843	-0,300	0,226	0,378	0,268	0,669	0,826	0,198	-0,075	1,000	-0,082
Si ⁴⁺	0,728	0,029	0,024	0,288	0,053	0,641	-0,348	0,559	0,005	0,440	0,062	-0,082	1,000

Para avaliação de possível correlação/similaridade entre as águas dos dois sistemas aquíferos, ou similaridades entre amostras de um mesmo sistema, foi realizada a análise multivariada com os métodos de agrupamento (*cluster analysis*) e de componentes principais.

A figura 4.3 apresenta o dendrograma obtido na análise de agrupamento (*cluster analysis*) com uso do método Ward e medida de distância euclidiana, realizada com o auxílio do programa XLSTAT. Nesta análise estatística foram considerados os resultados analíticos em mg/L, e os dados não foram normalizados, já que o grau de variabilidade entre os parâmetros analisados é função da própria característica da água e dos processos que resultaram na composição final.

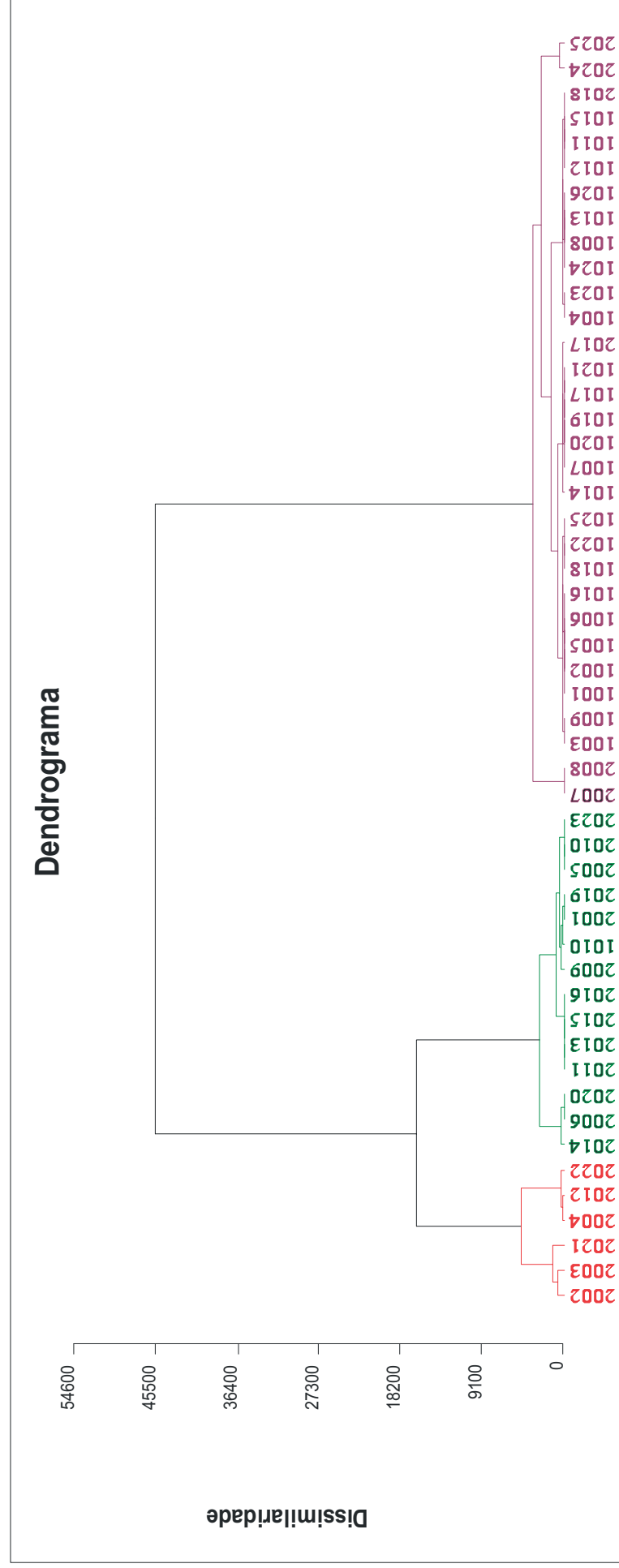


Figura 4.3 – Dendrograma (Modo Q) resultante da análise de agrupamentos das amostras de água subterrânea coletadas na área urbana do município de Bauru.

A partir do dendrograma (Figura 4.3), foram identificados preliminarmente 3 grupos distintos, denominados **a**, **b**, **c**.

Para obtenção de componentes correlacionáveis aos parâmetros avaliados visando melhor entendimento da sua variabilidade, foi realizada a análise de componentes principais (PCA), a partir das variáveis e co-variâncias.

Os resultados apresentaram 14 componentes (autovetores) que explicam a variabilidade entre as amostras. Destes componentes, quatro (F1, F2, F3 e F4) explicam 98,57% da variabilidade das concentrações dos íons na água subterrânea (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Autovalores.

	F1	F2	F3	F4
Autovalor	1081,705	368,341	169,099	19,775
Variância				
(%)	65,054	22,152	10,170	1,189
Cumulativo				
(%)	65,054	87,207	97,376	98,566

Análise de componentes principais.

Cada vetor está relacionado, em diferentes proporções, aos parâmetros/variáveis considerados, conforme pode ser visualizado nas tabelas 4.5 e 4.6, que apresentam os vetores F1 a F4.

Tabela 4.5 - Autovetores para os íons analisados.

	F1	F2	F3	F4
HCO ₃ ⁻	0,844	0,335	-0,371	-0,045
CO ₃ ⁻	0,089	-0,014	0,329	0,753
SO ₄ ⁻	-0,007	0,055	0,023	0,268
Cl ⁻	-0,086	0,249	0,002	0,189
F ⁻	0,001	0,000	0,000	-0,005
Ba ²⁺	-0,021	0,012	0,011	-0,006
Ca ²⁺	-0,060	0,268	-0,303	0,467
K ⁺	-0,033	0,000	-0,019	0,010
Mg ²⁺	-0,028	0,063	-0,052	0,107
Na ⁺	0,358	0,195	0,806	-0,120
Sr ²⁺	0,003	0,005	-0,006	-0,012
Zn ²⁺	-0,003	0,002	0,008	0,024
NO ₃ ⁻	-0,371	0,841	0,066	-0,176
Si ⁴⁺	-0,007	0,015	-0,071	0,220

Análise de componentes principais.

O maior peso para a constituição do autovetor 1 (F1), que corresponde a 65% (Tabela 4.4) da variabilidade, é o HCO₃⁻ (Tabela 4.6); e para o autovetor 2 (F2) correspondente a 22% da variabilidade, é o parâmetro NO₃⁻. Em relação aos índices

de Pearson, F1 estaria relacionado principalmente às amostras do SAG e o F2 às amostras do SAB.

Os pesos de cada variável na constituição das componentes são apresentados na tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Contribuição das variáveis

	F1	F2	F3	F4
HCO ₃ ⁻	71,269	11,255	13,800	0,204
CO ₃ ⁻	0,790	0,019	10,825	56,641
SO ₄ ⁻	0,005	0,299	0,051	7,198
Cl ⁻	0,731	6,209	0,000	3,571
F ⁻	0,000	0,000	0,000	0,002
Ba ²⁺	0,044	0,015	0,012	0,003
Ca ²⁺	0,362	7,207	9,170	21,780
K ⁺	0,109	0,000	0,036	0,010
Mg ²⁺	0,080	0,402	0,267	1,147
Na ⁺	12,848	3,811	64,891	1,446
Si ²⁺	0,001	0,002	0,003	0,014
Zn ²⁺	0,001	0,000	0,006	0,056
NO ₃ ⁻	13,755	70,757	0,438	3,095
Si ⁴⁺	0,004	0,023	0,498	4,831

Análise de componentes principais.

Pela figura 4.4, que apresenta a correlação entre os autovetores F1 e F2 para as amostras coletadas, verifica-se que os resultados obtidos com a análise de componentes principais são semelhantes àqueles obtidos pela análise de agrupamentos, sendo identificados 3 grupos. Estes grupos apresentam amostras exclusivamente do SAB (**B**), exclusivamente do SAG (**C**) e um misto dos dois sistemas (**A**). Observa-se ainda que o vetor predominante para o agrupamento **A** é o F2, cuja variável com maior peso é o nitrato.

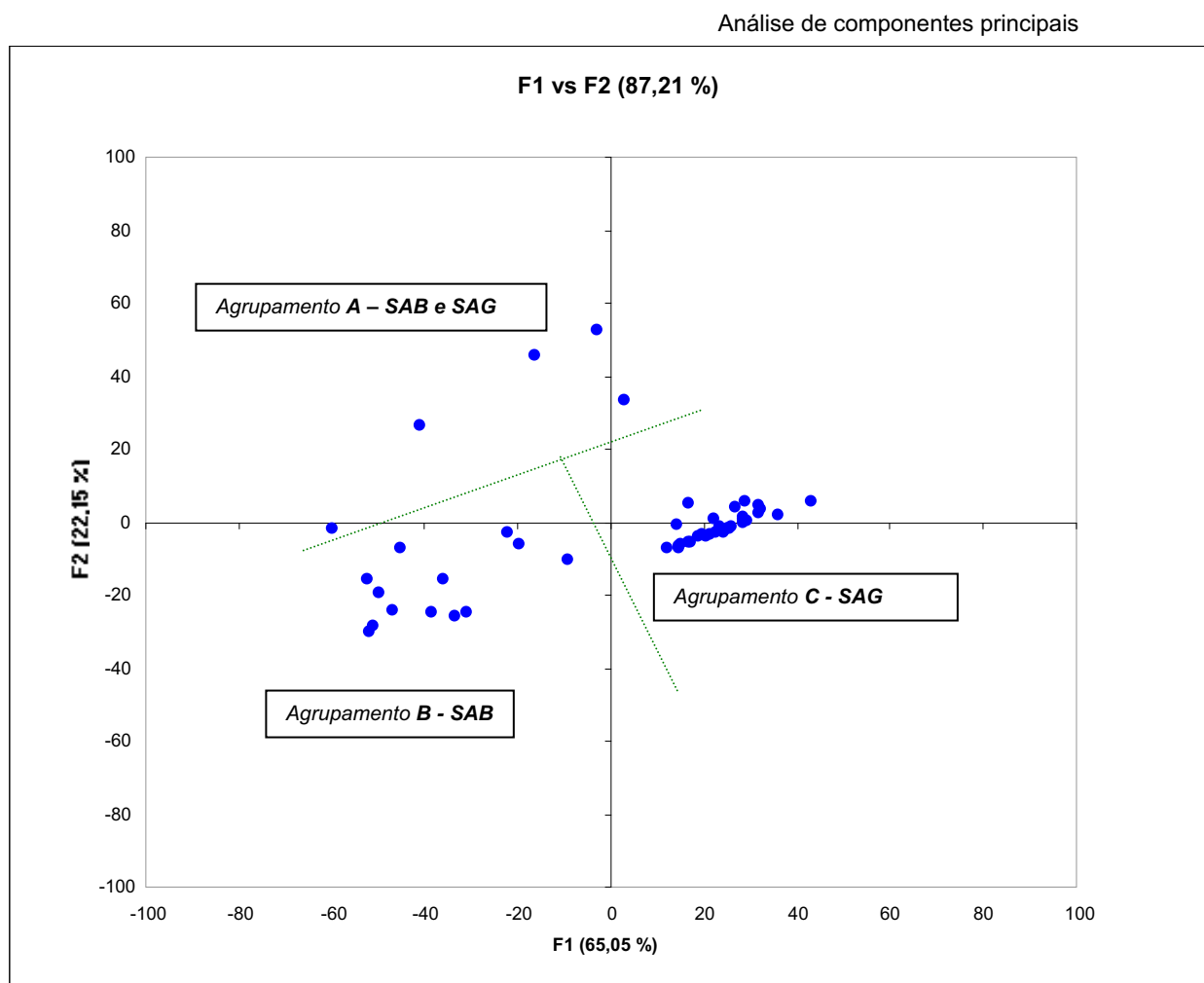


Figura 4.4 - Gráfico com a relação entre as amostras e as componentes F1 e F2

Para avaliação do grau de significância da variabilidade entre os grupos de amostras definidos preliminarmente pela análise de agrupamentos (Dendrograma – figura 4.3) e pela análise de componentes principais, foi realizada uma análise discriminante. Desta forma, obteve-se uma avaliação da classificação dos grupos e a descrição da contribuição de cada variável para os diferentes grupos formados.

Por esta análise, realizada com o auxílio do aplicativo XLSTAT, a diferença entre os 3 diferentes grupos (**A**, **B**, **C**), definidos preliminarmente no dendrograma, foi considerada significativa (Figura 4.5). A tabela 4.7 apresenta a quantidade de amostras por grupo e as concentrações médias para os íons considerados na análise.

Tabela 4.7 - Descrição dos grupos.

Grupo	Frequência	Média HCO ₃	Média CO ₃	Média SO ₄	Média Cl	Média F	Média Ba	Média Ca	Média K	Média Mg	Média Na	Média Sr	Média Zn	Média NO ₃	Média Si
A	6	48,85	0,00	3,38	16,91	0,00	3,50	21,40	2,19	5,13	17,28	0,43	1,05	60,30	9,98
B	14	22,60	0,00	0,82	2,40	0,01	2,72	5,92	2,75	1,61	2,18	0,12	0,91	10,19	9,48
C	31	79,79	6,36	0,93	0,54	0,09	1,44	4,04	0,40	0,46	31,05	0,33	0,62	0,96	8,63

A tabela 4.8 apresenta os autovalores obtidos com a análise discriminante que, juntos, explicam a variabilidade de 100% das amostras.

Tabela 4.8 - Autovalores e variância.

	F1	F2
Autovalor	10,958	9,466
Variância (%)	53,653	46,347
Cumulativo (%)	53,653	100,000

Análise Discriminante.

O peso de cada variável na constituição dos autovetores é mostrado na tabela 4.9. Assim como na Análise de Componentes Principais, os íons HCO₃⁻ e Na⁺ apresentam os maiores pesos para a constituição do F1, correspondente a 53,7% da variabilidade das amostras. Já os parâmetros Cl⁻, Mg²⁺ e NO₃⁻ apresentam os maiores pesos para a componente F2, correspondente a 46,3% da variabilidade das amostras.

Tabela 4.9 - Peso das variáveis na constituição dos autovetores:

Variáveis	F1	F2
HCO ₃ ⁻	-0,680	0,610
CO ₃ ⁻	-0,259	0,435
SO ₄ ⁻	-0,185	-0,260
Cl ⁻	-0,354	-0,840
F ⁻	-0,243	0,441
Ba ²⁺	0,097	-0,387
Ca ²⁺	-0,311	-0,721
K ⁺	0,550	-0,672
Mg ²⁺	-0,182	-0,850
Na ⁺	-0,631	0,515
Sr ²⁺	-0,434	0,024
Zn ²⁺	0,067	-0,215
NO ₃ ⁻	-0,322	-0,909
Si ⁴⁺	0,070	-0,272

Análise Discriminante.

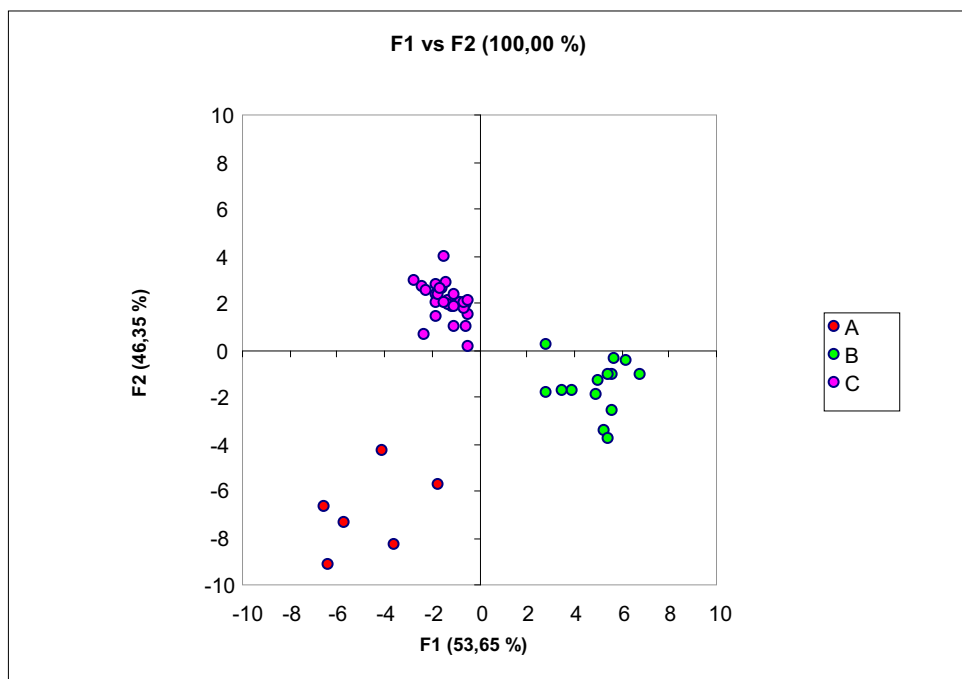


Figura 4.5 – Distribuição dos grupos em relação às componentes.

Os grupos visualizados no gráfico da figura 4.5, apresentam distinção entre os dois sistemas aquíferos, denotada pelos pesos dos íons bicarbonato e sódio, que agruparam os conjuntos B (SAB) e C (SAG), e pelos pesos das variáveis cloreto, nitrato e magnésio, que agruparam 5 amostras de ambos os sistemas aquíferos (Grupo A). A distribuição dos grupos em planta é apresentada na figura 4.6.

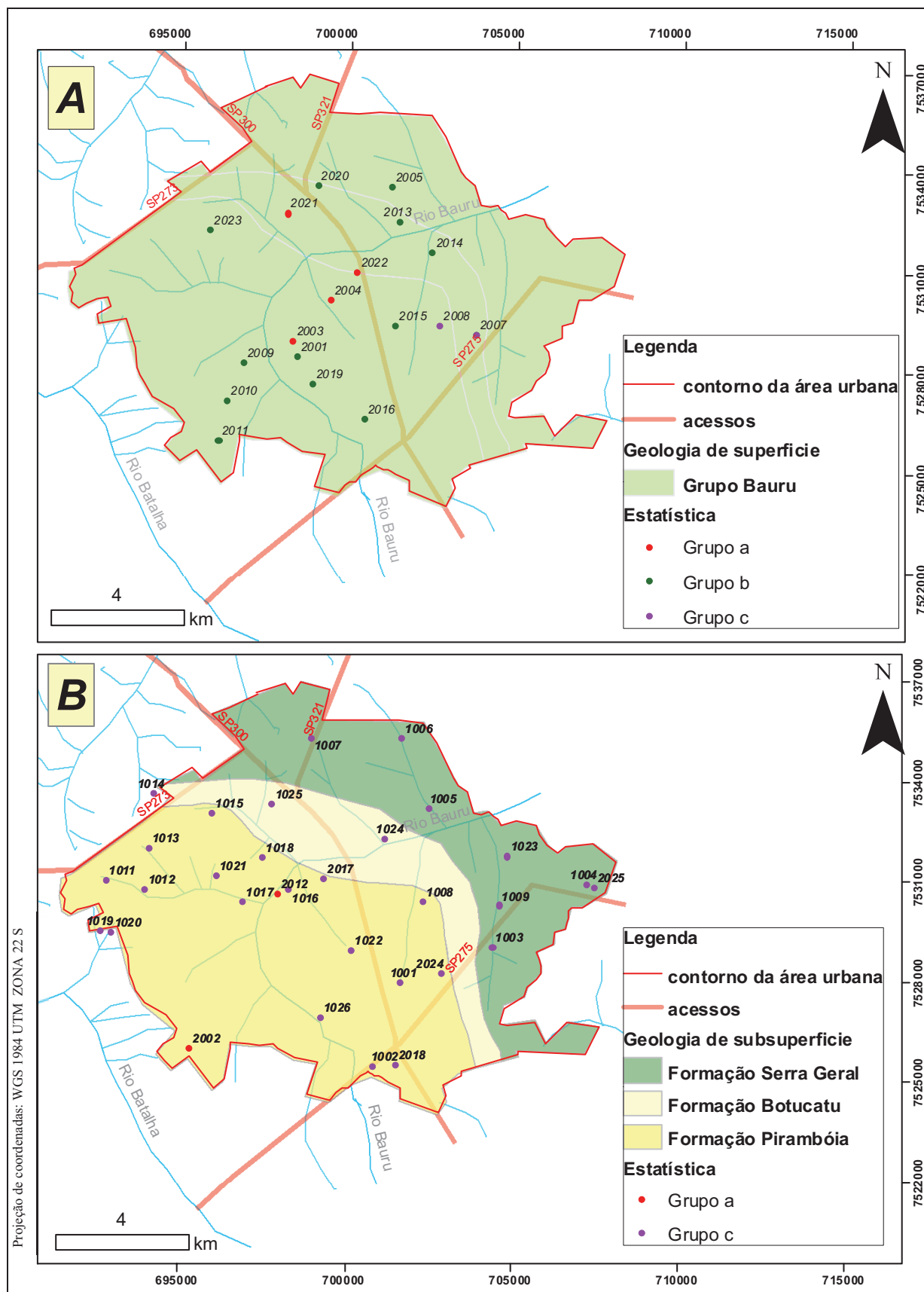


Figura 4.6 – Mapa de distribuição dos grupos identificados. A: Distribuição das amostras do SAG. B: Distribuição das amostras do SAB.

4.2 Principais características físicas e químicas das águas subterrâneas

As análises químicas contemplaram a quantificação dos íons maiores presentes em solução na água subterrânea. Os resultados analíticos estão apresentados no Anexo II. Considerando que as soluções são eletricamente neutras, uma forma de avaliar a representatividade dos resultados obtidos é a verificação do balanço de cargas negativas e positivas. Para o balanço de carga foram utilizados os resultados analíticos convertidos em meq/L, conforme Custódio e Llamas (1996).

A figura 4.7 apresenta um histograma com os resultados obtidos. As amostras apresentaram balanço de carga com até 15%, exceção para as amostras 2023, com 19,05%, e 2024, com 38,92%. Estas amostras apresentaram menor concentração de íons e condutividade elétrica (a amostra 2023 apresentou CE de 39,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$), que aumenta o erro analítico, devido a restrições relativas aos limites de detecção dos equipamentos; pode ainda indicar possível precipitação de substâncias antes da análise ou a não inclusão de alguma substâncias presentes dentre os parâmetros quantificados. O balanço de carga para cada amostra é apresentado no Anexo III.

De acordo com Custódio e Llamas (1996), o erro permitido para amostras com condutividade de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ é de 10%, chegando a 30% para condutividades elétricas de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A figura 4.8 apresenta um histograma com a distribuição dos valores de condutividade elétrica obtidos para as amostras; observa-se que as amostras apresentam, predominantemente, CE menor que 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

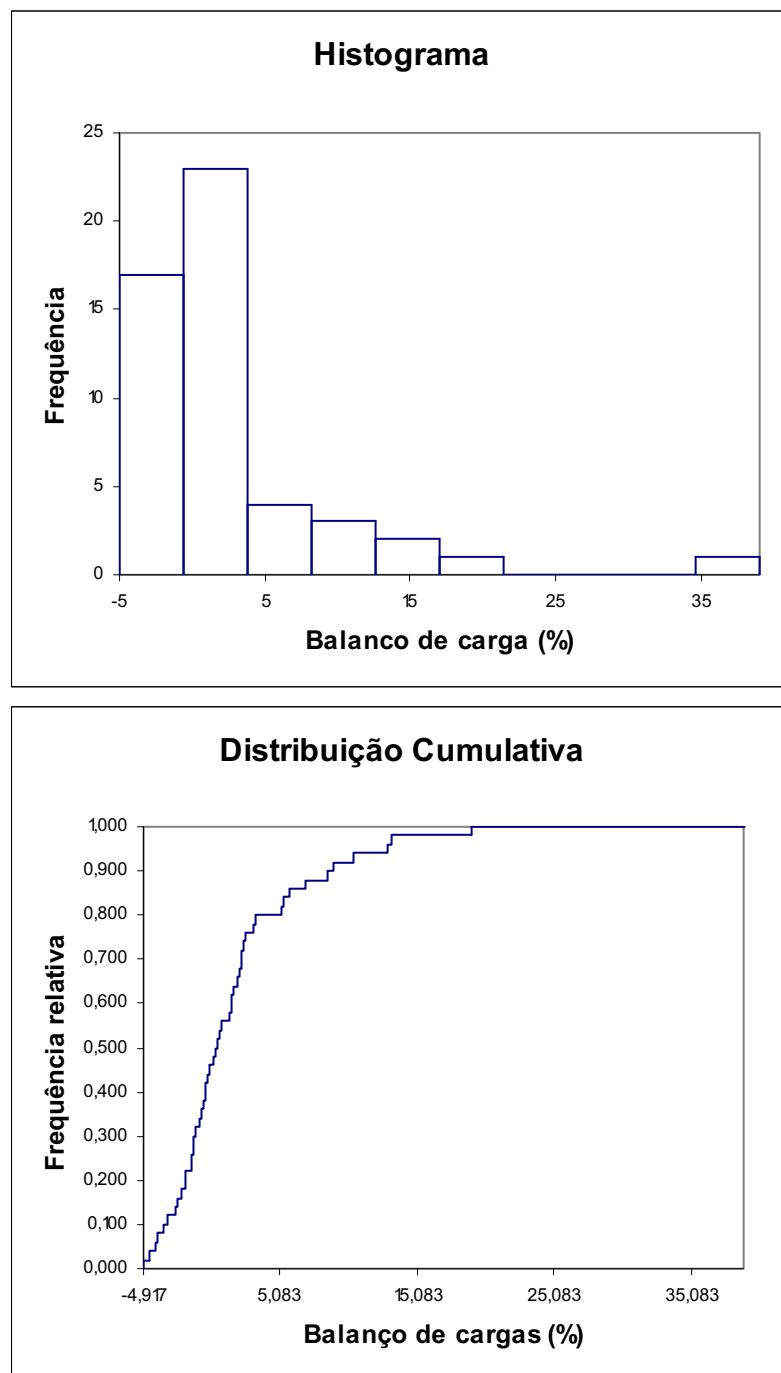


Figura 4.7 - Histograma e distribuição cumulativa do balanço de carga das amostras

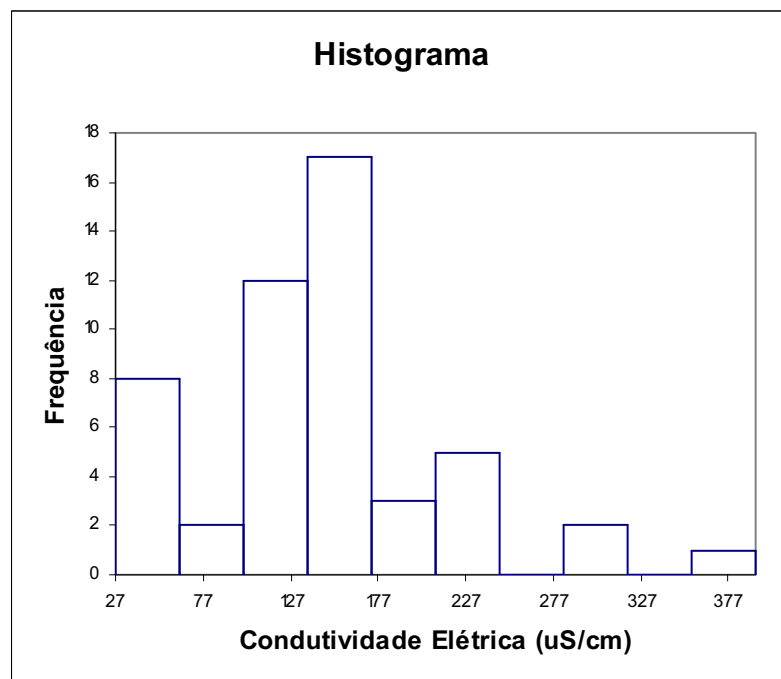


Figura 4.8 - Histograma com a distribuição dos valores de condutividade elétrica das amostras

Considerando que a condutividade elétrica, cujos resultados são apresentados no Anexo IV, está relacionada à quantidade de íons em solução e, desta forma, pode ser um indicativo da concentração iônica e vice-versa, foi elaborado um gráfico (Figura 4.9) relacionando a condutividade elétrica com a concentração de ânions, por este gráfico observa-se correlação superior a 0,85 nos dois sistemas aquíferos.

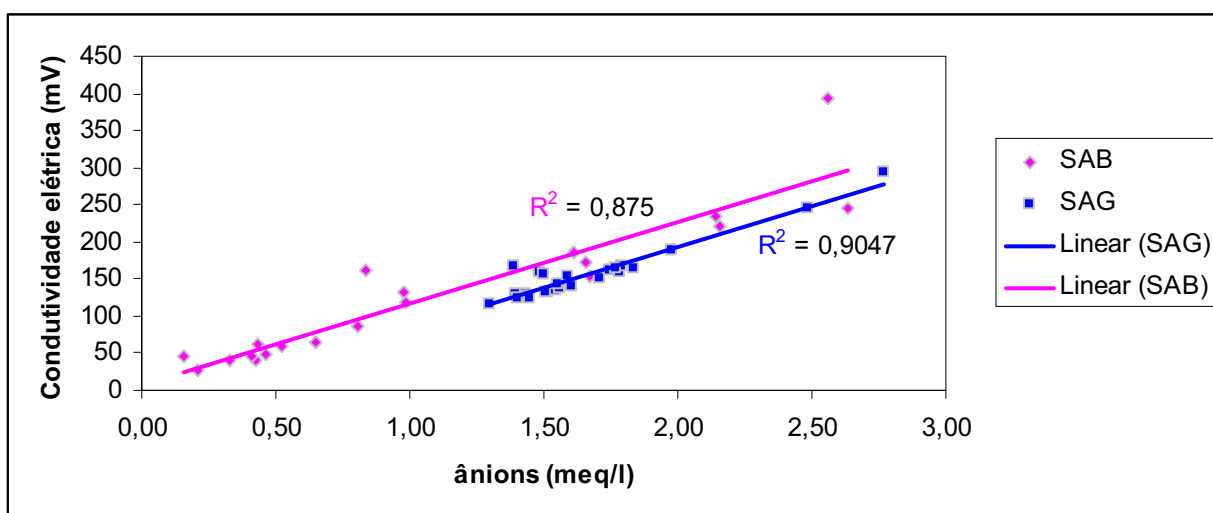


Figura 4.9 - Condutividade elétrica (medida em campo) versus concentração de ânions (meq/L)

Assim, pode-se considerar que os resultados obtidos são aceitáveis, podendo ser utilizados para os estudos hidroquímicos propostos nesta pesquisa.

4.2.1 Classificação das águas subterrâneas

Para a classificação das águas subterrâneas, foram utilizados os diagramas de Piper-Hill-Langelier e Stiff, elaborados com uso dos programas Rockworks 99[®] e Geostiff[®].

O diagrama de Piper-Hill-Langelier representa as características das amostras, considerando as concentrações (% de meq/L) dos ânions ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, SO_4^{2-} , Cl^-) e dos cátions ($\text{K}^+ + \text{Na}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+}) maiores. A disposição destes resultados no romboedro, que contempla os íons dispostos nos triângulos para um conjunto de amostras, possibilita uma representação de efeitos simples de fenômenos atuantes sobre a água (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1996), possibilitando a classificação, identificação de misturas de águas, possíveis reações químicas e a comparação entre diferentes tipos de água.

O diagrama de Stiff (1951) representa as características individuais de cada amostra de água subterrânea, a partir dos íons maiores (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), podendo ser incluídos outros íons que representem significativa importância. Em mapa, estes diagramas podem indicar a tendência hidroquímica espacial da água.

Sistema Aquífero Guarani

De acordo com os diagramas de Piper (Figura 4.10) e Stiff (Figura 4.11), as amostras do SAG são predominantemente bicarbonatadas sódicas. As amostras do SAG e do Aquífero Serra Geral (Figura 4.10) apresentam como íons predominantes o HCO_3^- e o Na^+ . Os diagramas de Stiff (Figura 4.11) apresentam para o SAG a homogeneidade na composição química das águas, exceção para aquelas referentes as amostras do 2002 (sul) 2012 (centro), que apresentam cloreto; e as amostras 1004 e 1009 (oeste), 2012 (centro) e 2002 (sul) que apresentam maiores concentrações de cálcio. A amostra 1023, do Aquífero Serra Geral, apresentou concentração de cálcio e magnésio.

A distribuição dos resultados, tanto no diagrama de Piper quanto nos mapas de diagramas de Stiff, não indica processos de evolução química num contexto espacial, dentro da área urbana do município de Bauru. As variações observadas nas concentrações de cloreto ocorrem pontualmente (amostras 2002 e 2012), sem a caracterização de uma tendência. As concentrações de cálcio associadas às altas concentrações de cloreto são pontuais, enquanto que a tendência de incremento das concentrações de cálcio, em especial as que apresentaram as maiores concentrações (1004, 1012, 1009, 1023), estão relacionadas aos poços com maior profundidade.

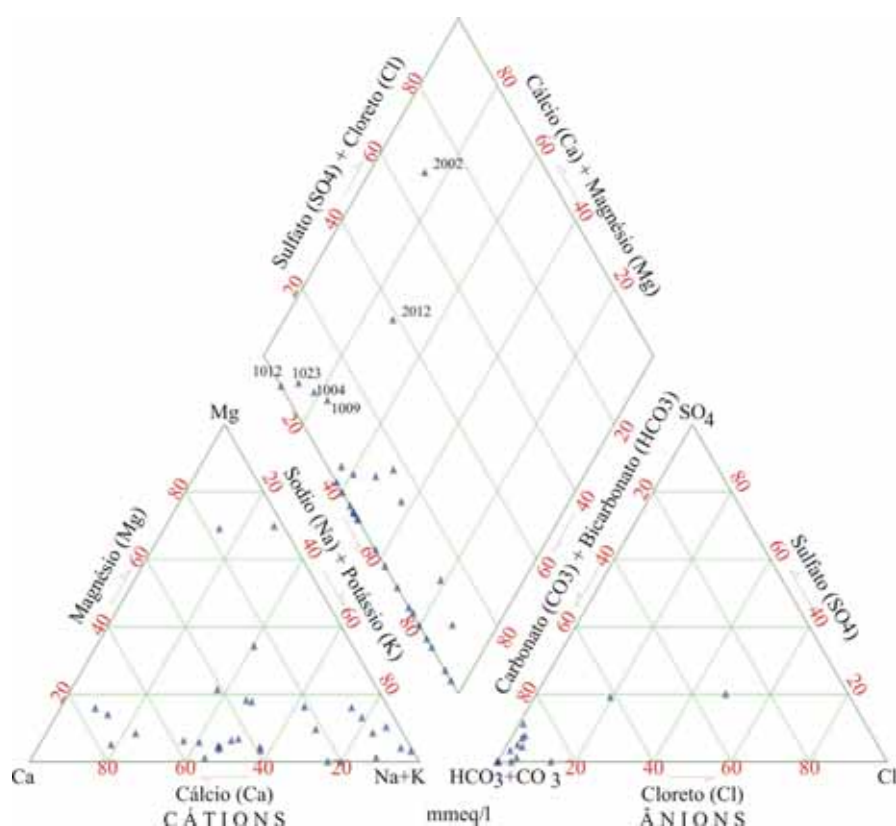


Figura 4.10 - Diagrama de Piper para amostras do SAG

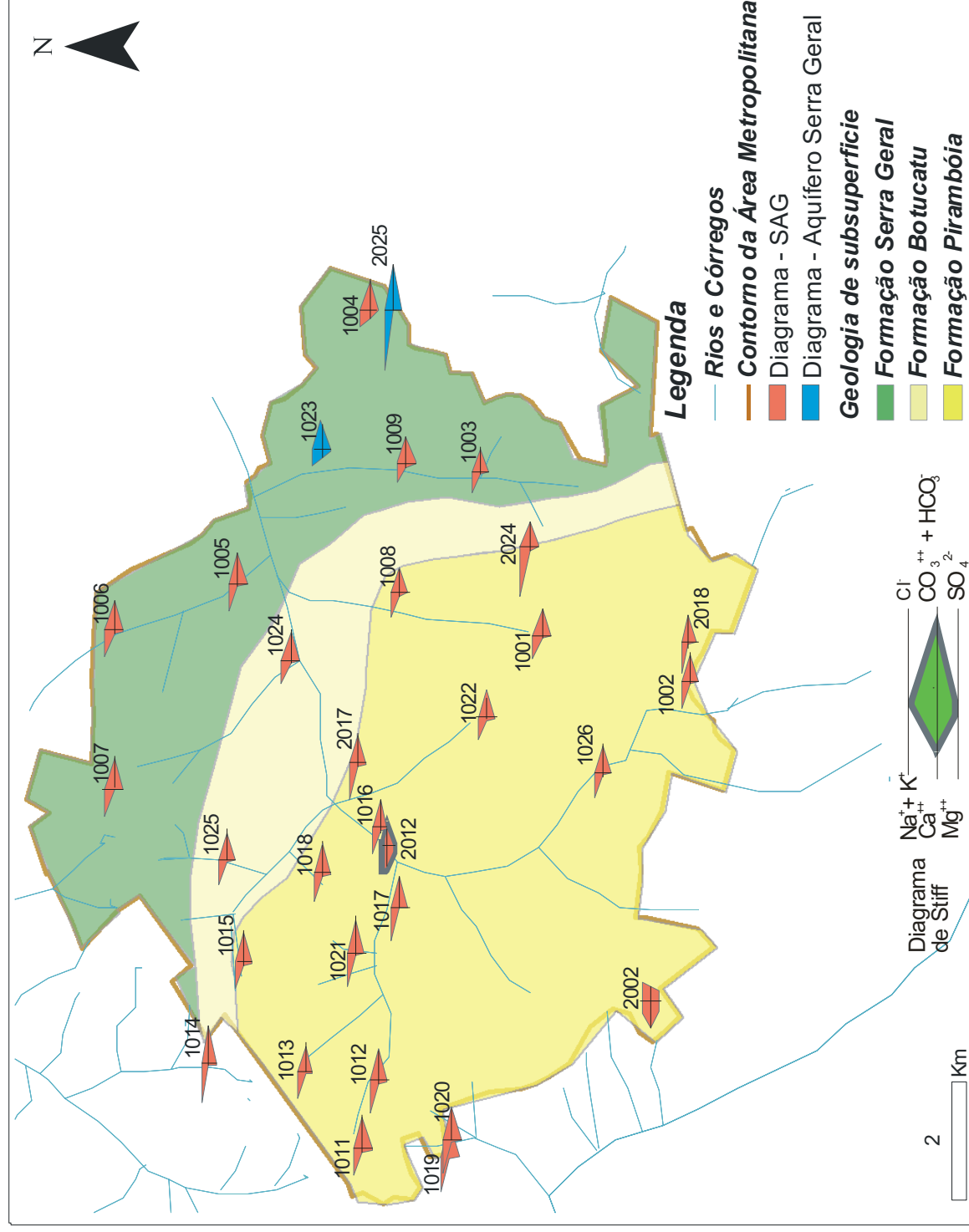


Figura 4.11 - Distribuição, em planta, dos diagramas de Stiff para as águas do SAG e do Aquífero Serra Geral

Sistema Aquífero Bauru

As águas do SAB são predominantemente bicarbonatadas cálcicas a cálcio-magnesianas. As amostras de água subterrânea coletadas do SAB apresentam menor concentração iônica (Figura 4.9) e maior variabilidade na composição das águas (Figuras 4.12 e 13), quando comparadas às amostras do SAG. A menor concentração iônica está relacionada ao tempo de residência curto das águas subterrâneas deste sistema aquífero, tal como verificado em estudos no SAB por Barison (2003).

A distribuição dos resultados, tanto no diagrama de Piper (Figura 4.12) quanto nos mapas de diagramas de Stiff (Figura 4.13), não indica processos de evolução hidroquímica num contexto espacial, dentro da área urbana do município de Bauru. A variabilidade observada com relação a concentração de sódio é pontual (Figura 4.12).

A concentração dos íons Cl^- , Ca^{2+} e HCO_3^- é predominante nas amostras. A exceção ocorre para as amostras 2010 (sudoeste) e 2014 (nordeste) que apresentam nas concentrações de cátions, predomínio do íon sódio. A presença de cloreto ocorre principalmente na região central da área de estudo, onde também é verificada a presença de maior condutividade elétrica.

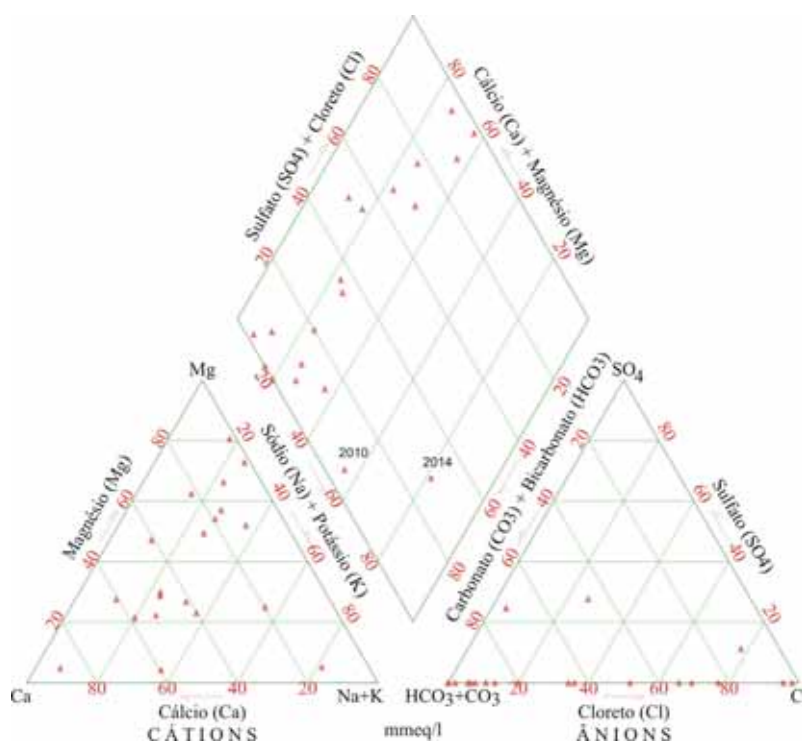


Figura 4.12 - Diagrama de Piper para amostras do SAB

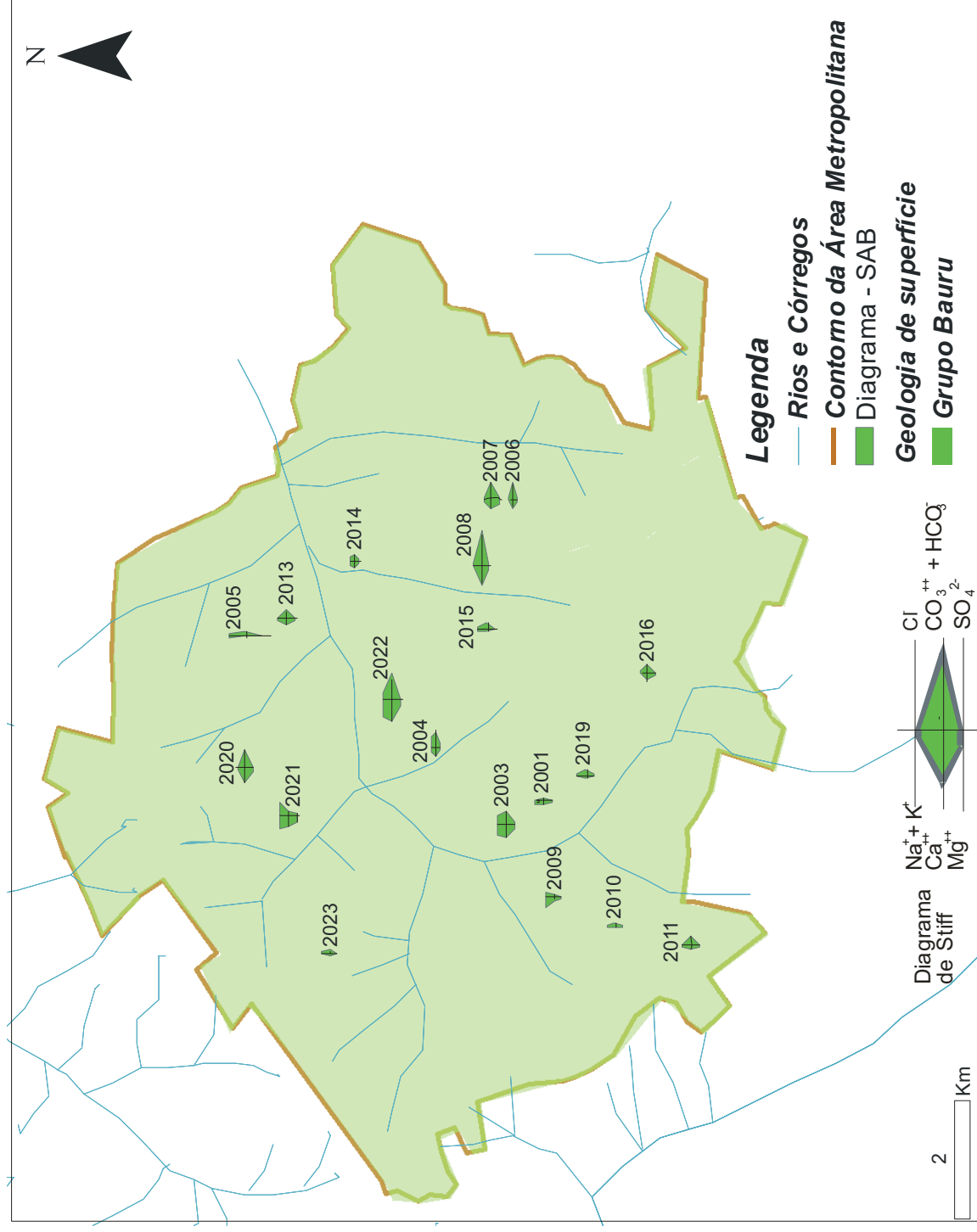


Figura 4.13 - Distribuição, em planta, dos diagramas de Stiff para as águas do SAB.

4.2.2 Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos, medidos em campo durante a amostragem, foram: temperatura, Eh (potencial de oxi-redução), condutividade elétrica e pH (potencial hidrogeniônico). Os dados obtidos nas medições dos parâmetros físico-químicos são apresentados no anexo IV.

Sistema Aquífero Guarani

A água do Sistema Aquífero Guarani é predominantemente básica, com valores que variam de 5,92 a 9,82. A figura 4.14 apresenta os resultados de pH em planta. As amostras 1011 (sudoeste), 2002 (sul) e 2012 (centro da área) apresentaram as menores concentrações de pH para as amostras do SAG. Com exceção da amostra 1011 (bicarbonatada sódica), localizada no sudoeste da área urbana, as demais (2002 e 2012) são bicarbonatadas cálcicas. Os valores de Eh indicam ambiente oxidante, com variação entre 375 e 616 mV; os valores de condutividade elétrica variam de 81 a 310 μ S/cm.

A predominância de pH básico, e as condutividades elétricas das águas do SAG são visualizadas nos gráficos das figuras 4.15 e 4.16. Os boxes apresentam os resultados de 50% das amostras, enquanto que os traços, acima e abaixo destes, indicam 25% dos maiores e dos menores valores, respectivamente.

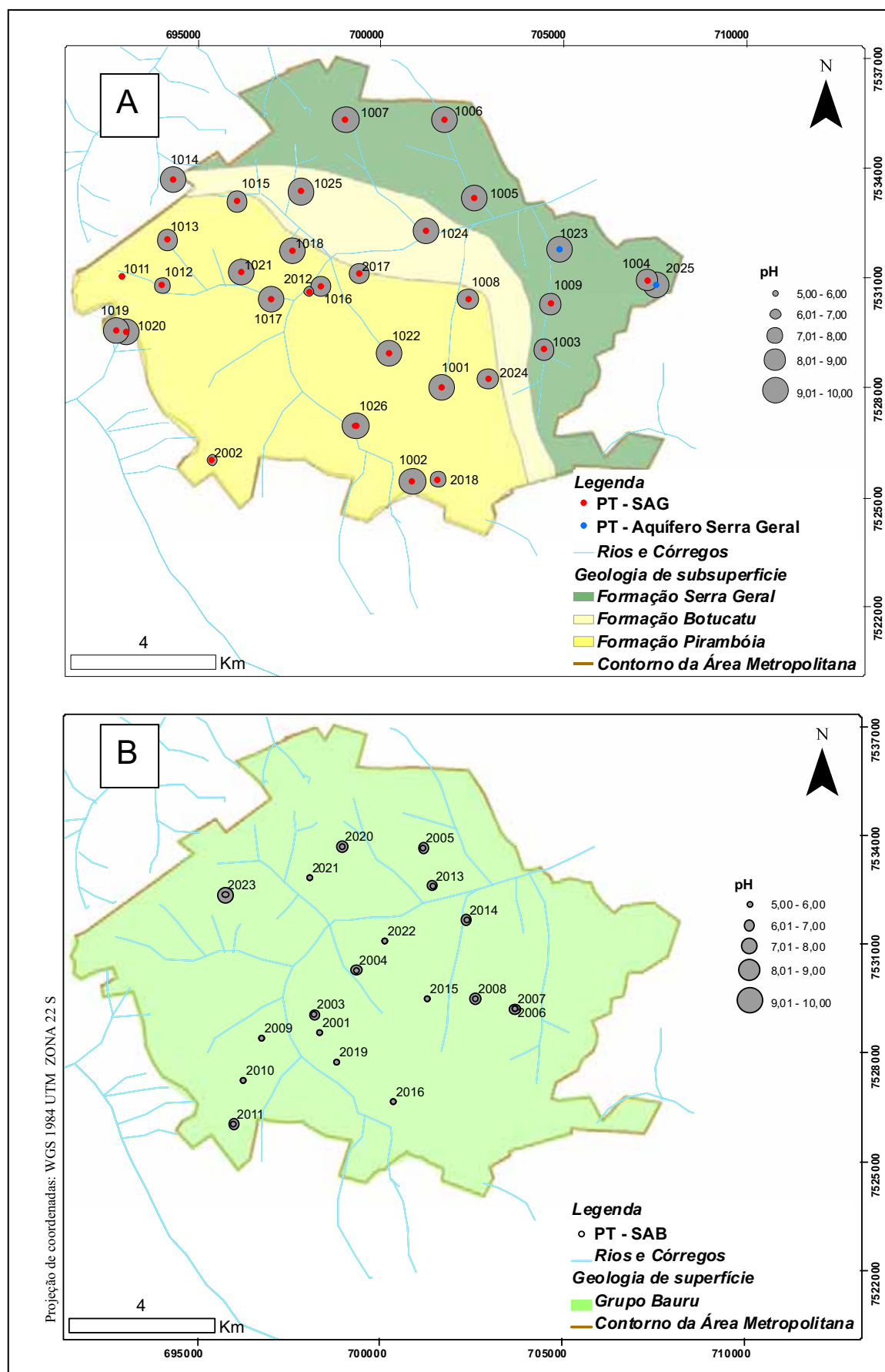


Figura 4.14 – Distribuição em planta dos valores de pH para o SAG (Mapa A) e SAB (Mapa B)

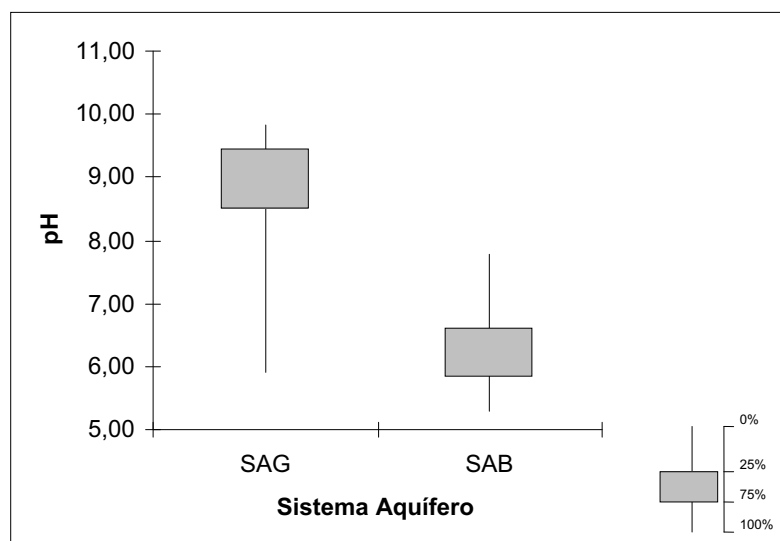


Figura 4.15 - Valores de pH para o SAG e SAB

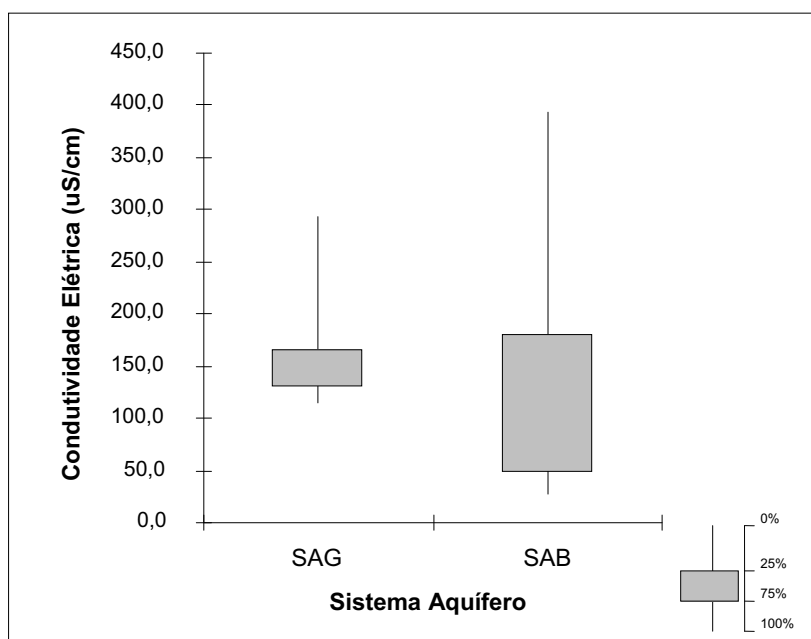


Figura 4.16 - Valores de condutividade elétrica para o SAG e SAB

A figura 4.17 apresenta os resultados de CE em planta. São observados valores acima de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no SAG, apenas nas amostras de poços localizados no centro (2012), sudoeste (2002) e extremo leste (1004) do estado. A amostra 2025, do aquífero Serra Geral, coletada de poço localizado a nordeste da área, também apresentou valor de CE superior a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

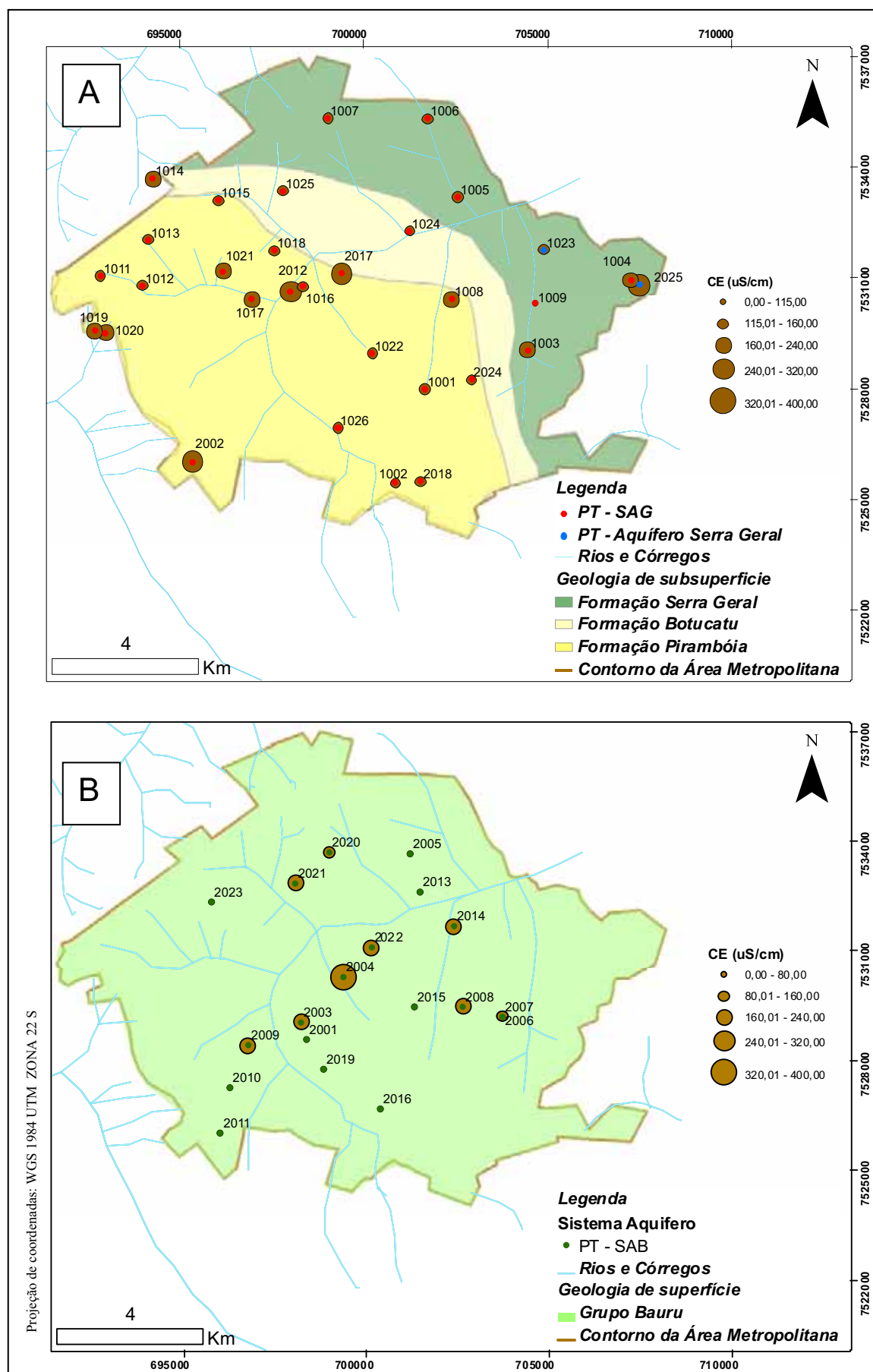


Figura 4.17 – Distribuição em planta dos valores de condutividade elétrica para o SAG (Mapa A) e SAB (Mapa B)

Sistema Aquífero Bauru

A água subterrânea do Sistema Aquífero Bauru é predominantemente ácida, com pH entre 5,29 e 7,77. Os valores de Eh indicam ambiente oxidante, com variação entre 301 e 530mV; e os valores de condutividade elétrica estão entre 27 e 393 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A distribuição de pH em área é apresentada na figura 4.14. A predominância de pH ácido e as condutividades elétricas do SAB são visualizadas nas figuras 4.15 e 4.16. Os boxes apresentam os resultados de 50% das amostras, enquanto que os traços acima e abaixo destes, indicam 25% dos maiores e dos menores valores, respectivamente.

A maior variabilidade nos valores de CE (Figura 4.16) para o SAB, em relação ao SAG, pode ser observada a partir da distribuição dos resultados de condutividade elétrica em planta (Figura 4.17), e tem relação com a concentração dos diferentes tipos iônicos, principalmente com cloreto e nitrato. Na porção central da área de estudo, são encontrados os maiores valores de CE (acima de 200 μS), enquanto que nas porções sul e norte da área, os valores ficam abaixo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.2.3 Cátions e ânions

Sistema Aquífero Guarani

Considerando as médias das concentrações dos íons em meq/L, das amostras de água do SAG e Aquífero Serra Geral, a relação iônica, na área metropolitana de Bauru, é de $r\text{HCO}_3^- >> r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Cl}^-$ para os ânions (Figura 4.18), e de $r\text{Na}^+ >> r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2}$ para os cátions (Figura 4.19). Esta relação iônica é característica de águas intermediárias a confinadas, segundo estudos de Silva (1983), Meng e Maynard (2001), e Gastmans (2007) para o Sistema Aquífero Guarani.

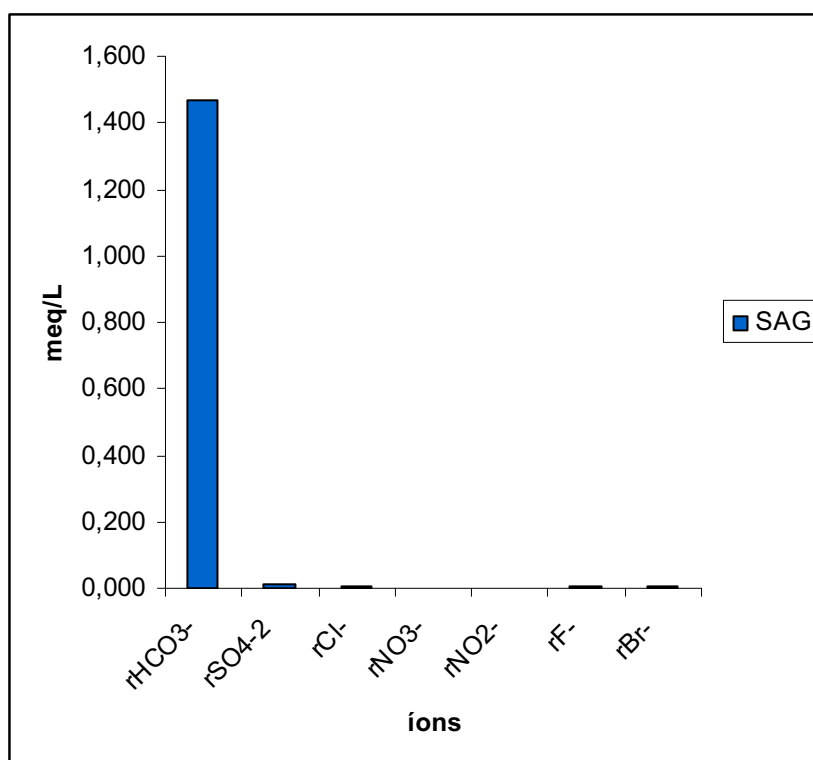


Figura 4.18 – Distribuição dos ânions nas águas subterrâneas do SAG

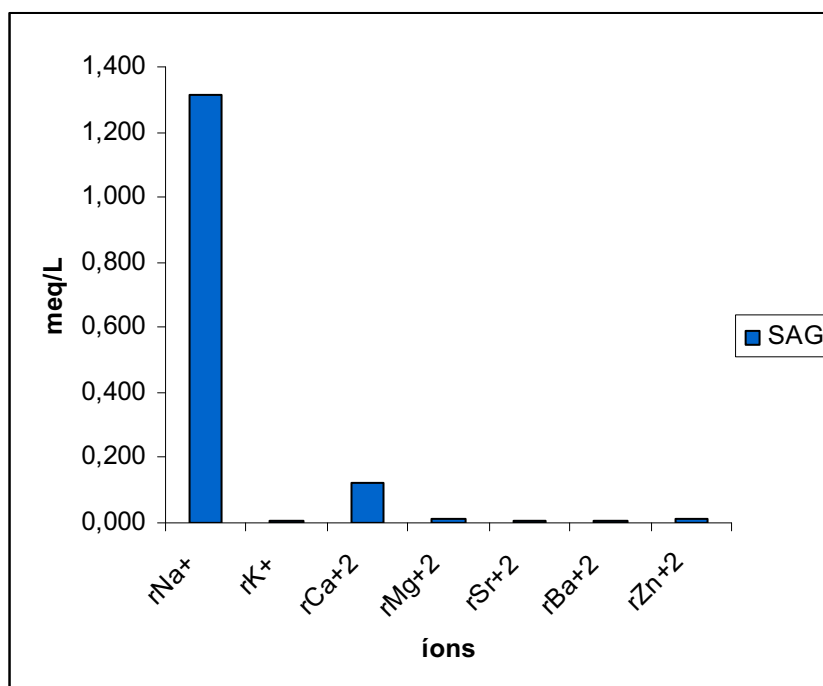


Figura 4.19 – Distribuição dos cátions nas águas subterrâneas do SAG

O bicarbonato é o íon mais abundante nas águas subterrâneas dos aquíferos estudados. São observadas maiores concentrações deste parâmetro para o SAG, (Figura 4.20), em relação às amostras do SAB.

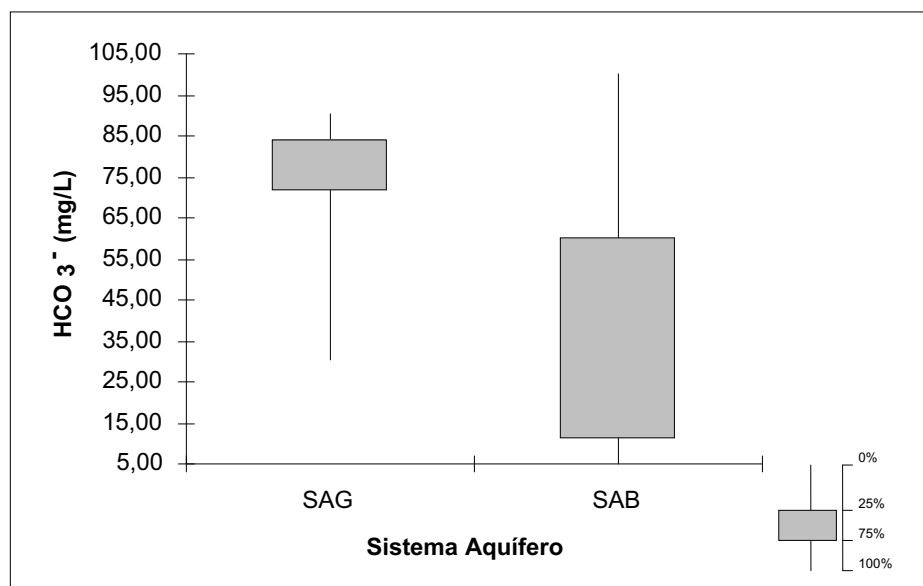


Figura 4.20 – Bicarbonato nas águas subterrâneas do SAG e do SAB

Com relação às concentrações de sódio e cálcio nas águas subterrâneas do SAG, é observada a predominância do sódio (Figura 4.21).

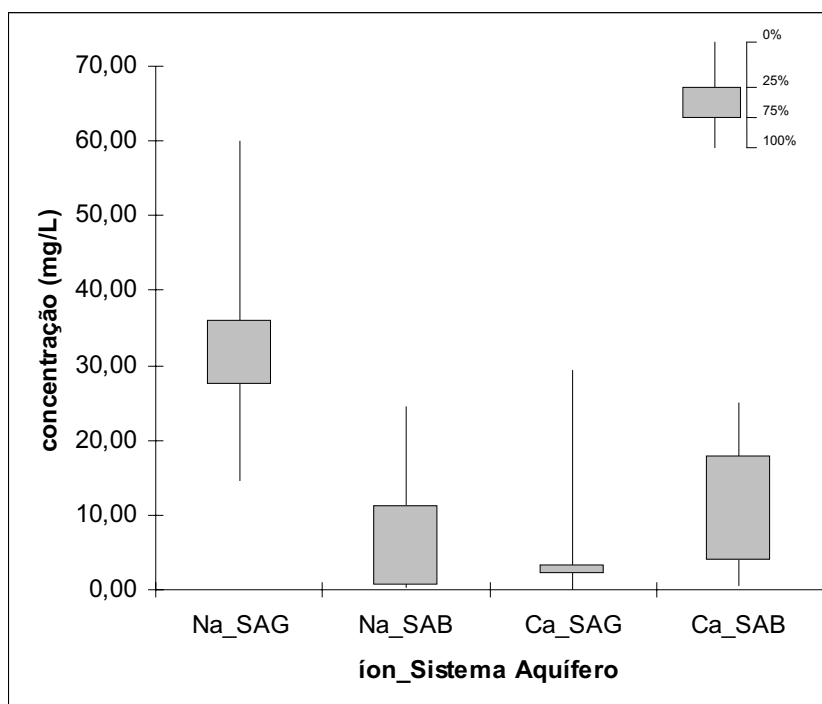


Figura 4.21 - Íons de Na^+ e Ca^{2+} nas águas subterrâneas do SAG e do SAB.

Sistema Aquífero Bauru

Já as águas do SAB têm como íons predominantes $\text{rHCO}_3^- > \text{rNO}_3^- > \text{rCl}$, para os ânions (Figura 4.22), e $\text{rCa}^{2+} > \text{rMg}^{2+} > \text{rNa}^+ > \text{rK}^+$, para os cátions (Figura 4.23). A razão iônica dos cátions é coerente com a obtida para o Sistema Aquífero Bauru por DAEE (1976), na região de Bauru, e por Barison (2003), em áreas de ocorrência da Formação Marília. Com relação aos ânions, não foram verificadas nestes trabalhos, concentrações significativas de nitrato e cloreto de forma disseminada.

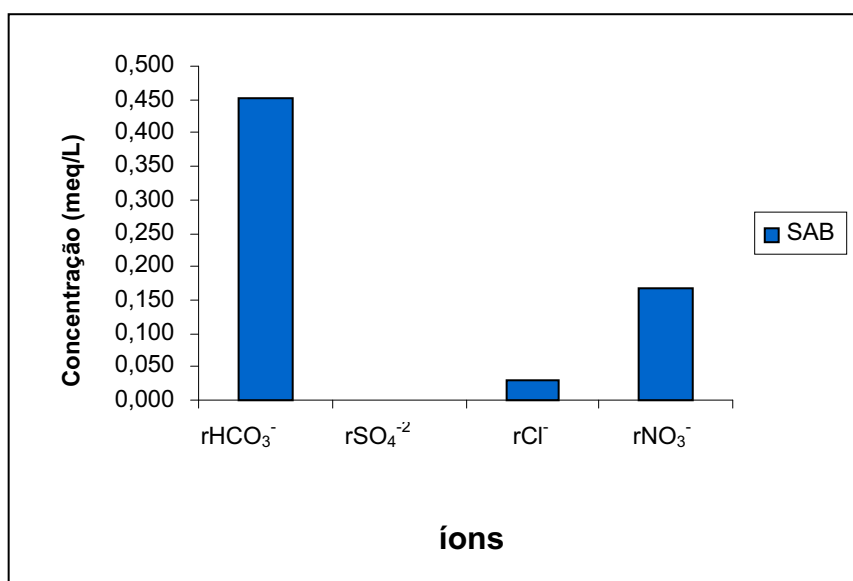


Figura 4.22 – Distribuição dos ânions nas águas subterrâneas do SAB

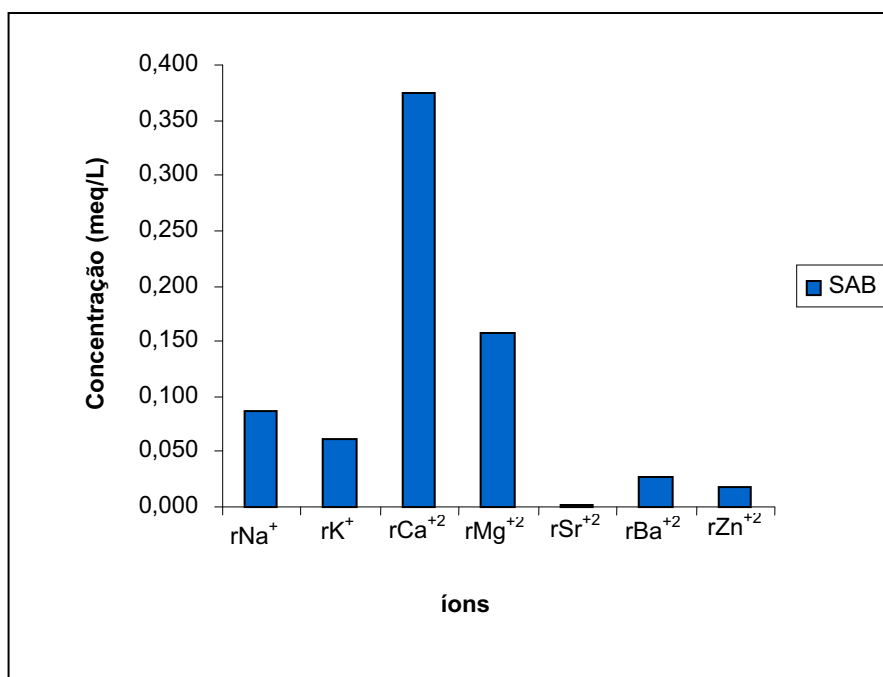


Figura 4.23 – Distribuição dos cátions nas águas subterrâneas do SAB

O bicarbonato e o cálcio são os íons mais abundantes no SAB, e ainda que com maior variabilidade, as concentrações de bicarbonato são predominantemente menores em amostras do SAB que em amostras do SAG.

Com relação às concentrações de cátions nas águas subterrâneas do SAB, é observada predominância dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} (Figuras 4.23 a 4.25) em relação ao sódio, e maior concentração de Si^{4+} e K^{+} em relação ao observado no SAG (Figuras 4.26 e 4.27). As relações iônicas entre os principais íons são apresentadas no Anexo V.

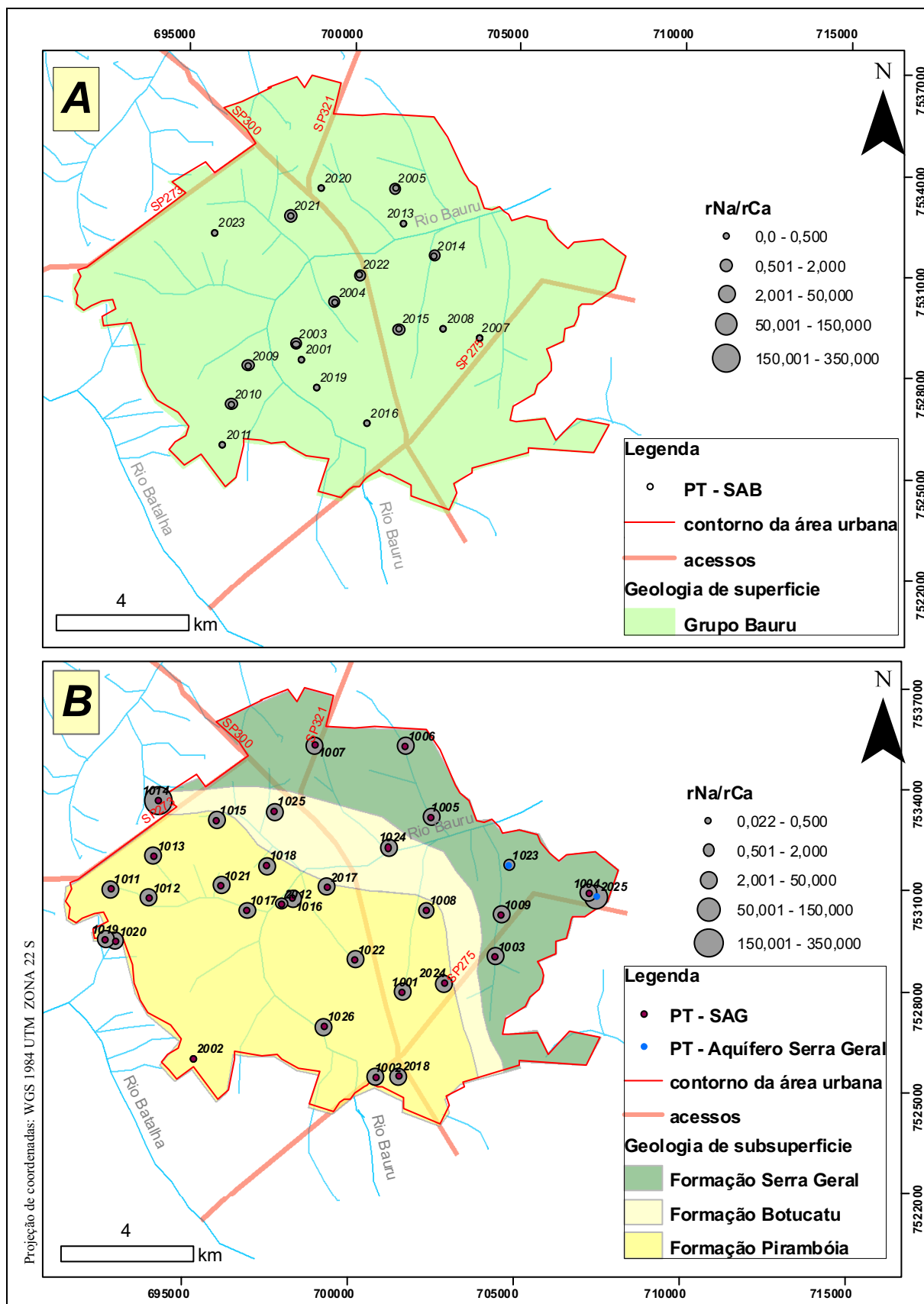


Figura 4.24 – Relação iônica rNa^+/rCa^{2+} nas águas subterrâneas do SAB (Mapa A) e SAG (Mapa B)

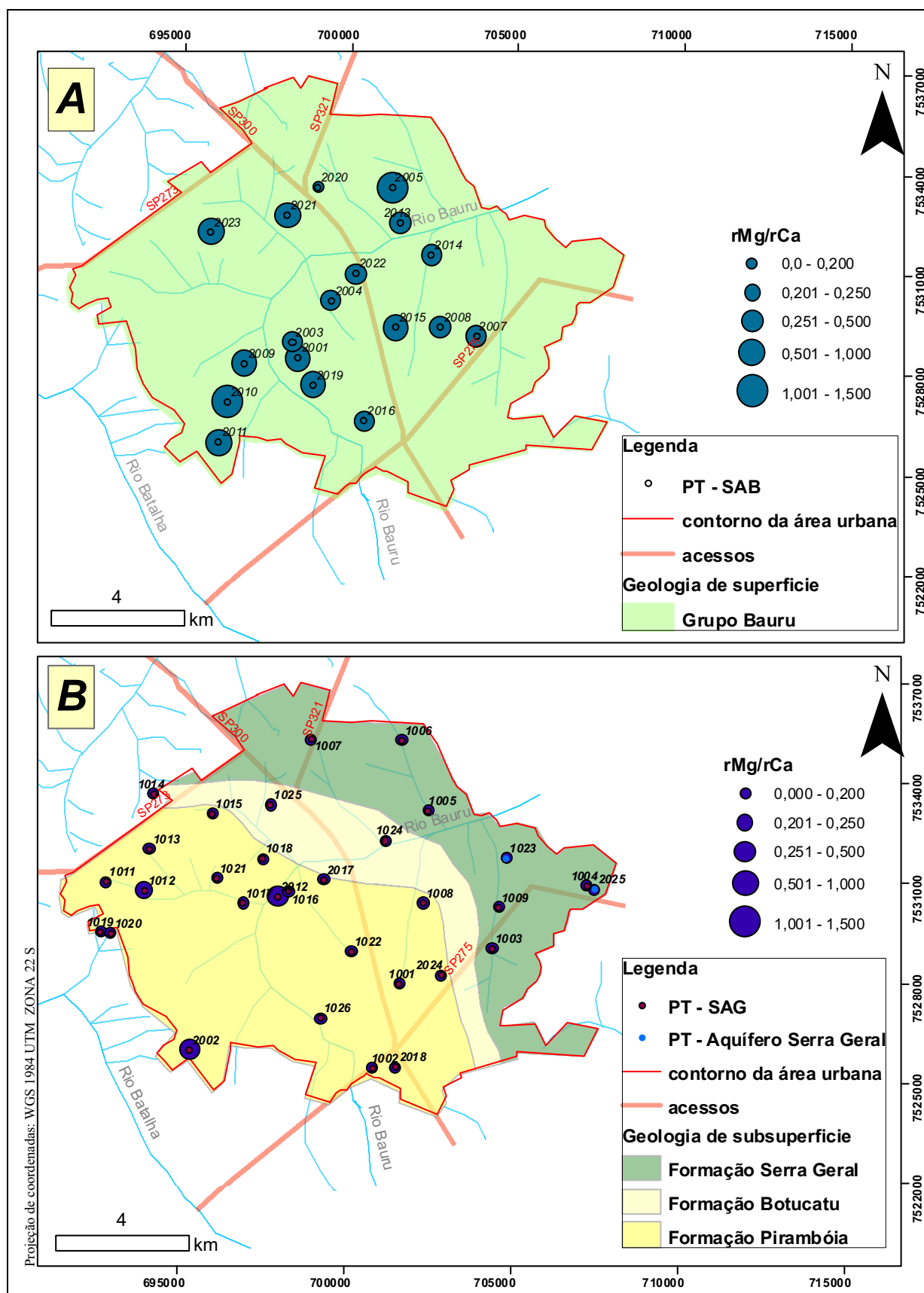


Figura 4.25 – Relação iônica Mg^{2+}/Ca^{2+} nas águas subterrâneas do SAB (Mapa A) e SAG (Mapa B)

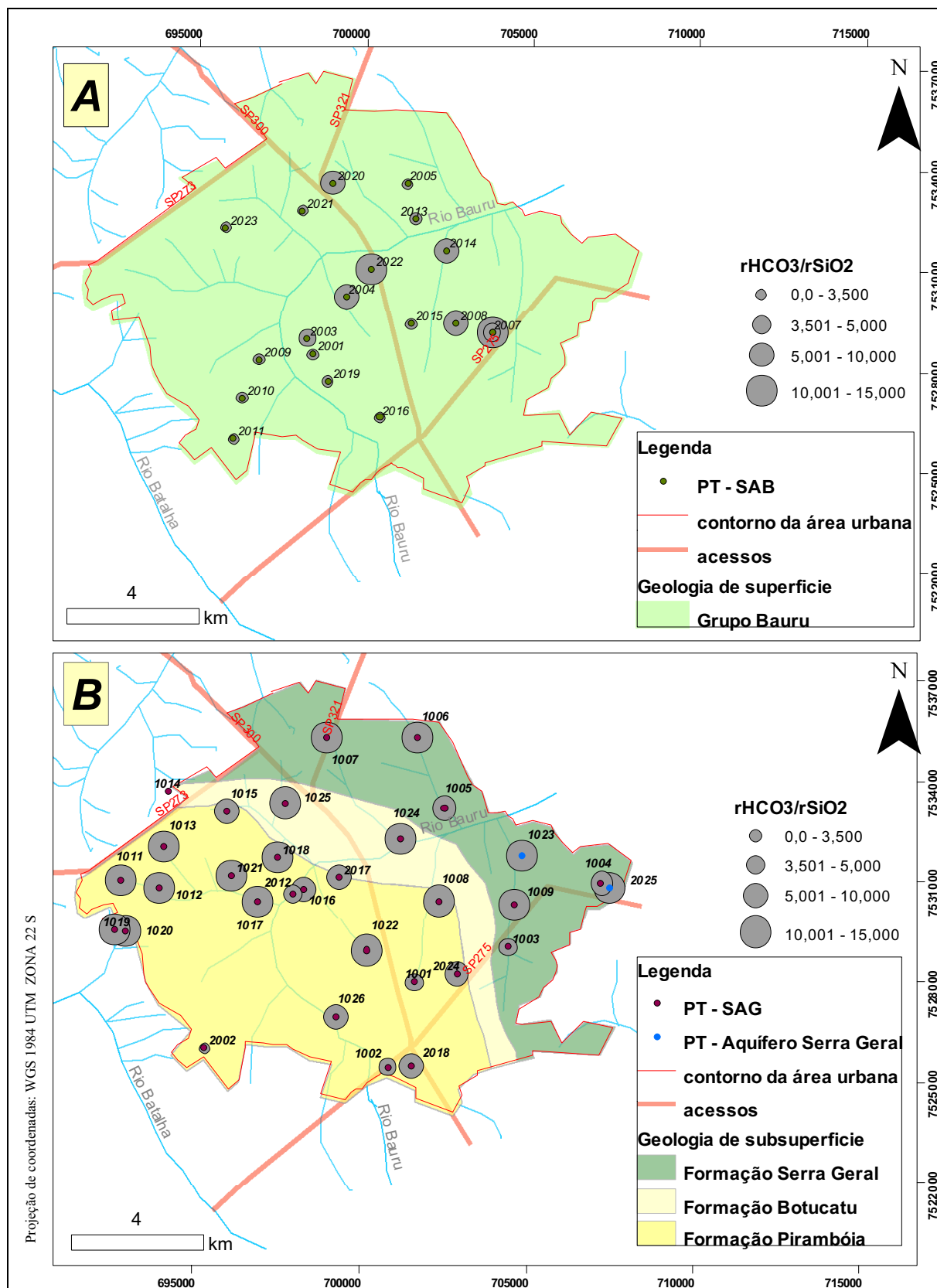


Figura 4.26 – Relação iônica HCO₃⁻/SiO₂ nas águas subterrâneas do SAB (Mapa A) e SAG (Mapa B)

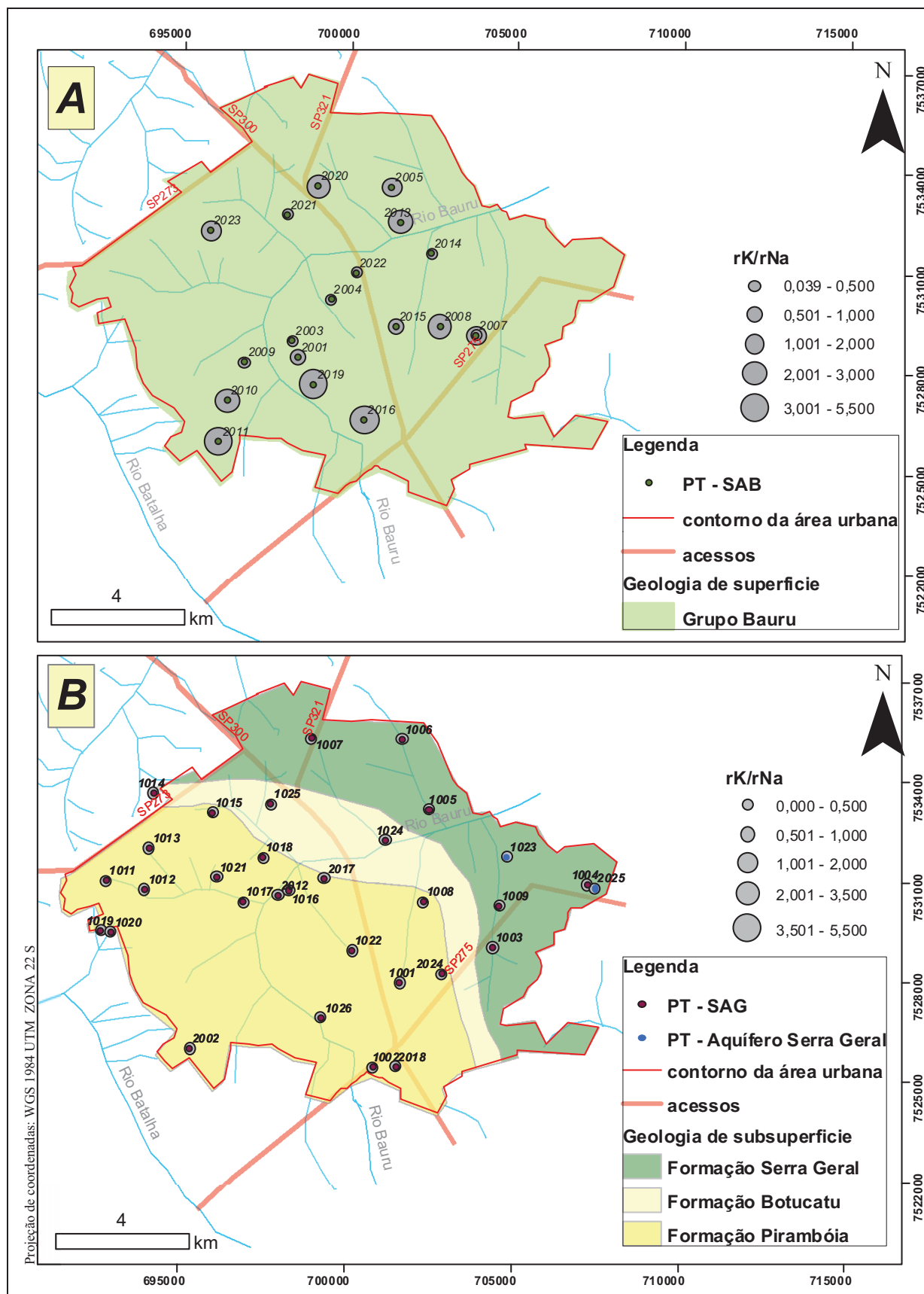
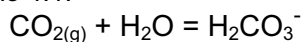


Figura 4.27 – Relação iônica K^+/Na^+ nas águas subterrâneas do SAB (Mapa A) e SAG (Mapa B).

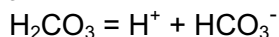
4.2.4 Análise de termodinâmica – equilíbrio com carbonatos

O bicarbonato (HCO_3^-) existente nos aquíferos é proveniente principalmente da degradação da matéria orgânica (liberação de dióxido de carbono), de carbonatos, principalmente calcita (presente na forma de cimentos), e da dissolução de feldspatos alcalinos. As equações 4.1 e 4.2 apresentam a reação do gás carbônico com a água na geração de bicarbonato.

Equação 4.1:



Equação 4.2:



Sistema Aquífero Guarani

Meng e Maynard (2001) verificaram que a maior contribuição de bicarbonato na água subterrânea provinha do cimento de calcita e de grãos de feldspato alcalino. Tendo obtido uma correlação direta entre bicarbonato (HCO_3^-) e cátions (Ca^{2+} , Na^+ e K^+) acima de 0,9, relacionaram a origem do bicarbonato à dissolução da calcita e à hidrólise do feldspato.

Nesta pesquisa, com as amostras da área urbana de Bauru, a correlação entre o bicarbonato e a somatória dos íons Ca^{2+} , Na^+ e K^+ foi de aproximadamente 0,8 para o SAG, conforme pode ser visualizado na figura 4.28. Para as amostras do SAB é observada maior dispersão dos resultados (Figura 4.16), já que a origem do bicarbonato está relacionada ao gás carbônico, oriundo das chuvas e do solo.

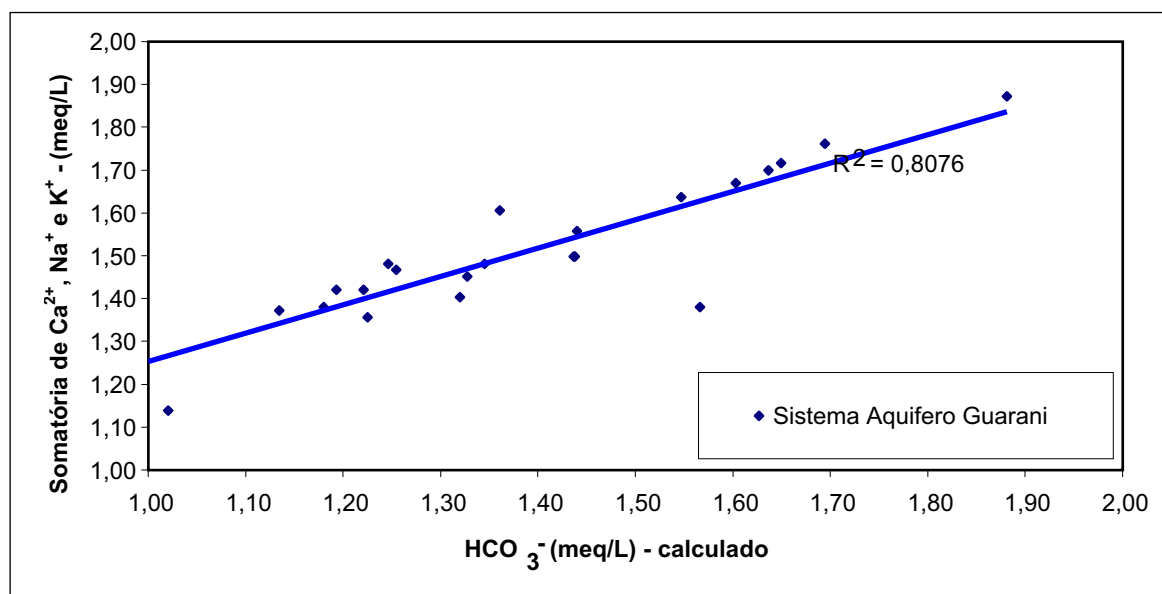
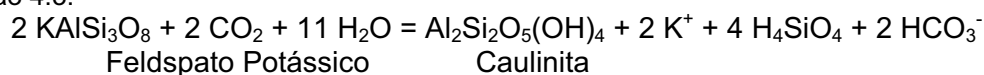


Figura 4.28 - Somatória de cátions *versus* concentração de bicarbonato para amostras do SAG

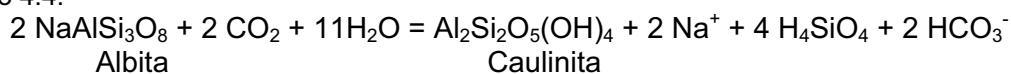
As amostras do SAG apresentam-se com depleção de Ca^{2+} em relação ao HCO_3^- , quando consideramos o índice de saturação da calcita próximo do equilíbrio (Anexo IV) e predominantemente positivo, indicando assim a possibilidade de precipitação deste mineral. Note que no equilíbrio, em sistemas abertos (aquífero livre), a pressão de CO_2 é constante, com aporte contínuo devido à presença de CO_2 na atmosfera e à degradação de matéria orgânica. Em sistemas fechados (aquífero confinado), a pressão de CO_2 tende a ser menor (DREVER, 1996), o que diminui a solubilidade da calcita e resulta na sua menor concentração na água.

Já a maior concentração de bicarbonato pode estar balanceada, conforme já mencionado por Meng e Maynard (2001), com dissolução de feldspato alcalino, segundo as equações 4.3 e 4.4.

Equação 4.3:



Equação 4.4:



A figura 4.29 mostra a relação entre o Ca^{2+} e SO_4^{2-} . A presença de sulfato foi relacionada por Sracek e Hirata (2002) à possível presença de anidrita ou gipsita, que no presente trabalho apresenta índices de saturação negativos (Anexo III e

Figura 4.29). Estes minerais estão relacionados ao ambiente de deposição das formações Adamantina, Botucatu e Pirambóia, árido a semi-árido, com provável precipitação eodiagenética de sais.

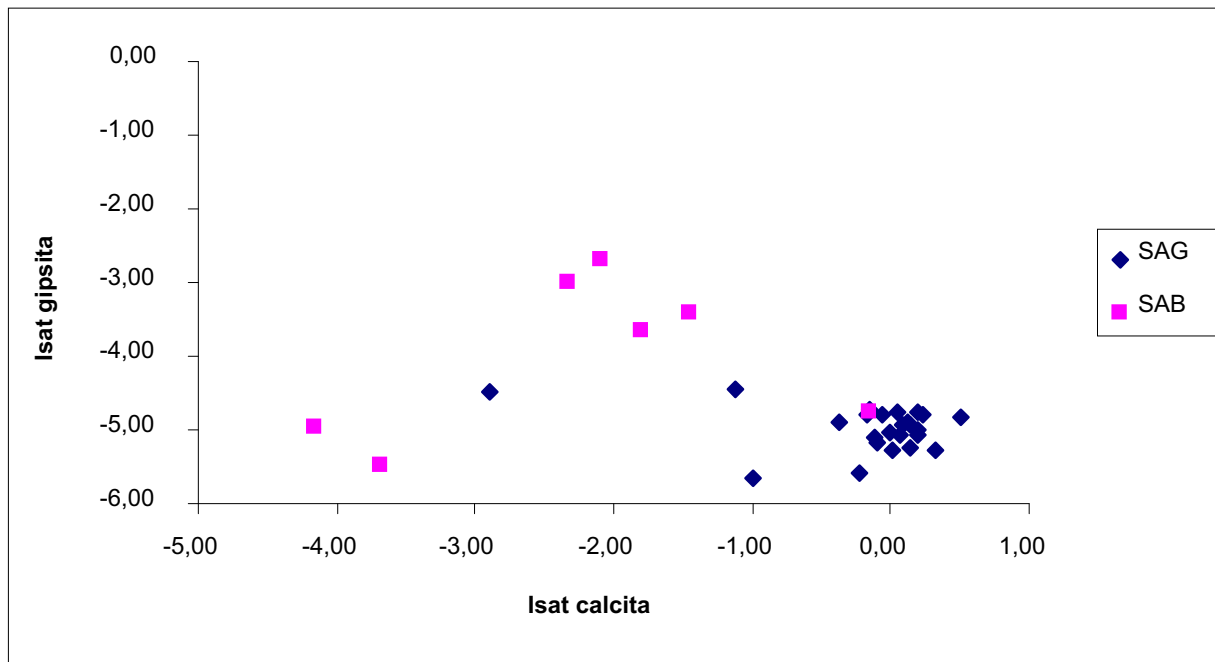


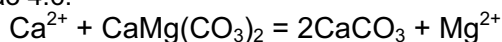
Figura 4.29 – Índice de saturação da gipsita *versus* índice de saturação da calcita

O índice de saturação da dolomita e da calcita (Anexo III e Figura 4.30) apresenta-se positivo no SAG, indicando saturação em relação a estes minerais. As reações de dissolução da gipsita e da dolomita estão representadas nas equações 4.5 a 4.7.

Equação 4.5:



Equação 4.6:



Equação 4.7:



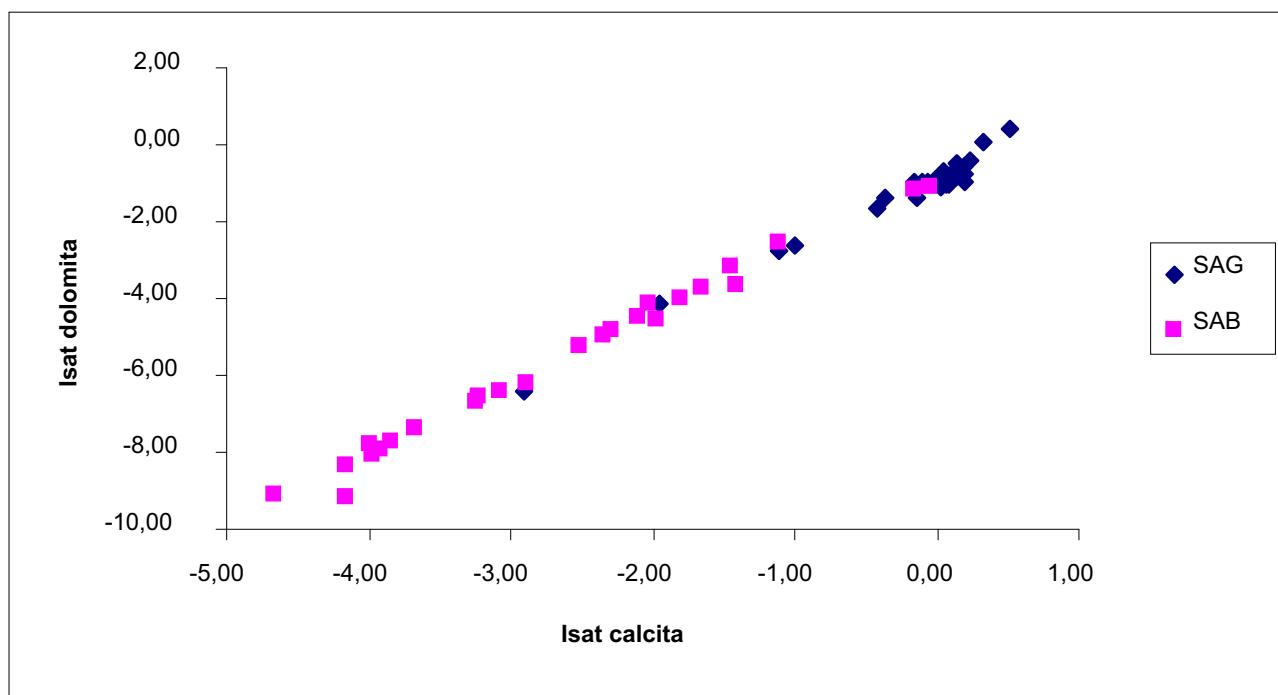


Figura 4.30 - Índice de saturação da dolomita *versus* índice de saturação da calcita

A figura 4.31 apresenta um gráfico com a relação entre as concentrações de cálcio e o sódio. Neste gráfico, observa-se que há uma tendência de aumento nas concentrações de sódio acompanhada da diminuição das concentrações de cálcio para as amostras do SAG. Esta correlação associada a baixa relação iônica (Equação 4.8) encontrada para $r\text{SiO}_2/r(\text{Na}^{2+} + \text{K}^- - \text{Cl}^-)$ pode ser resultado de troca catiônica. Meng e Maynard (2004), Sracek e Hirata (2002) e Silva (1983) também sugeriram a ocorrência de troca catiônica para esta porção do SAG. Esta tendência não é verificada para as amostras do SAB.

Equação 4.8:



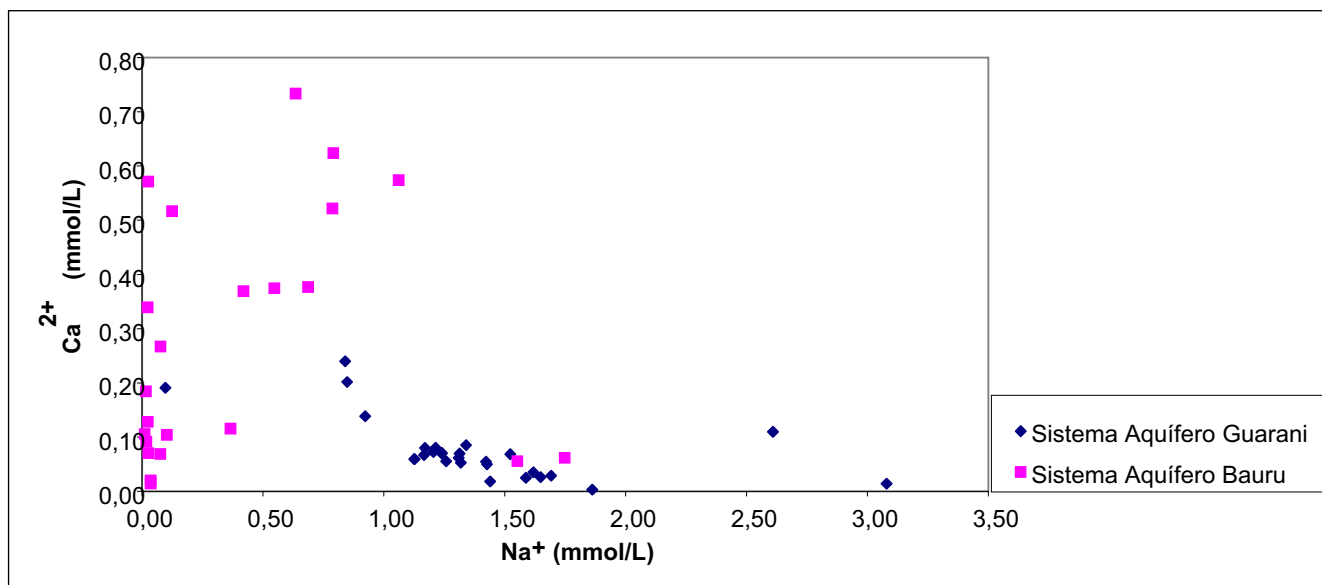
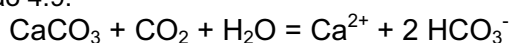


Figura 4.31 - Ca^{2+} versus Na^{+}

Sistema Aquífero Bauru

A figura 4.32 apresenta a relação entre o Ca^{2+} e o HCO_3^- . Por este gráfico é possível avaliar o equilíbrio do mineral calcita, presente como cimento nas formações rochosas do SAB. A linha de dissolução foi plotada considerando a equação 4.9.

Equação 4.9:



A insaturação para o mineral calcita nas águas subterrâneas do SAB (figura 4.30), associada a relação entre bicarbonato e cálcio (figura 4.32), em que as amostras encontram-se próximas da linha de dissolução da calcita, indicam este mineral como provável fonte para o íon cálcio neste aquífero.

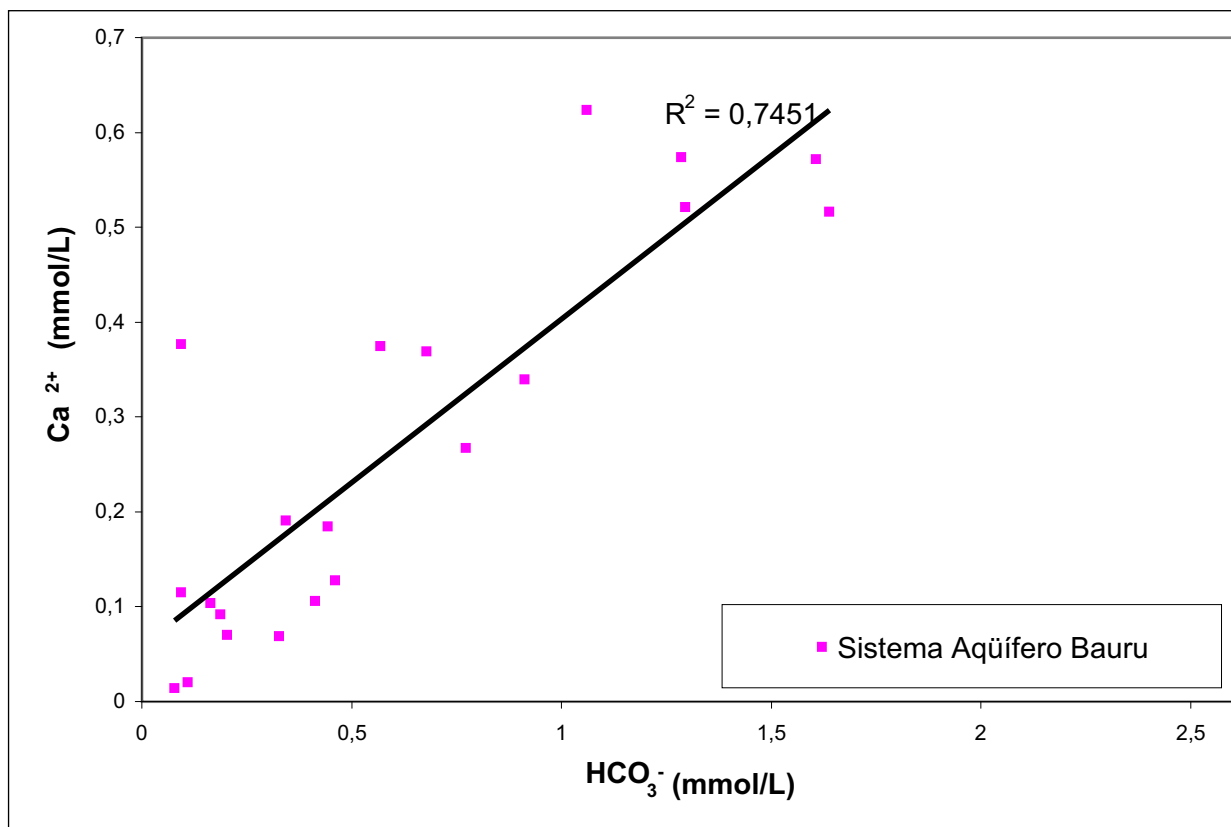


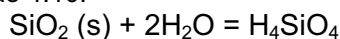
Figura 4.32 – Concentração de cálcio *versus* bicarbonato para amostras do SAB

4.2.5 Análise de termodinâmica - equilíbrio em sílica

A maior parte da sílica dissolvida em água resulta da reação com minerais silicáticos. Este processo é irreversível e a sílica dissolvida é controlada por fatores cinéticos nos processos de dissolução, adsorção ou precipitação eodiagenética (HEM, 1985). A concentração observada costuma ser maior que a constante de dissolução para o quartzo, e menor que a constante de dissolução da sílica amorfa, o que sugere, segundo Hem (1985), que outros processos (e não somente a dissolução do quartzo), controlam sua solubilidade, tais como a dissolução de feldspatos, os processos de adsorção, precipitação de minerais secundários e a baixa cinética das reações.

A alteração de minerais silicáticos é lenta, resultando mudanças mais graduais e menos evidentes na química da água, em relação à aquíferos carbonáticos (APPELO; POSTMA, 2005). A reação cinética é simplificada na equação 4.10.

Equação 4.10:



Sistema Aquífero Guarani

Os índices de saturação do quartzo e da calcita estão próximos de zero para as amostras do SAG (Figura 4.33). Estes valores indicam equilíbrio químico com a calcita e com o quartzo.

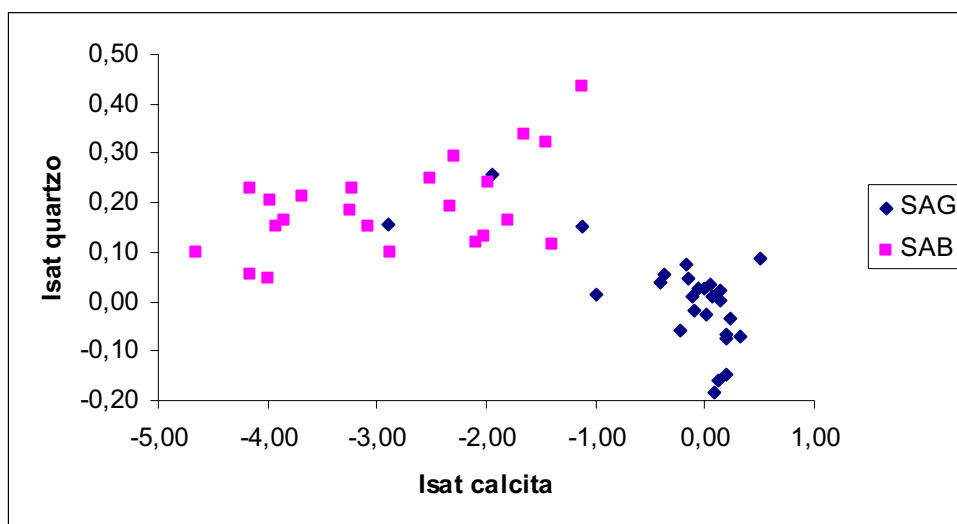


Figura 4.33 – Índice de saturação do quartzo *versus* índice de saturação da calcita

Sistema Aquífero Bauru

Os índices de saturação do quartzo nas águas do SAB apresentam valores positivos (saturação) enquanto que os da calcita e calcedônia estão negativos (insaturação) (Figuras 4.33 e 4.34). Estes valores associados às razões iônicas entre bicarbonato e sílica, e entre cálcio e sódio, confirmam a presença mais acentuada da sílica e do cálcio no SAB, em relação ao SAG, indicando possível liberação destes íons para a água por reações com carbonatos e minerais aluminosilicáticos.

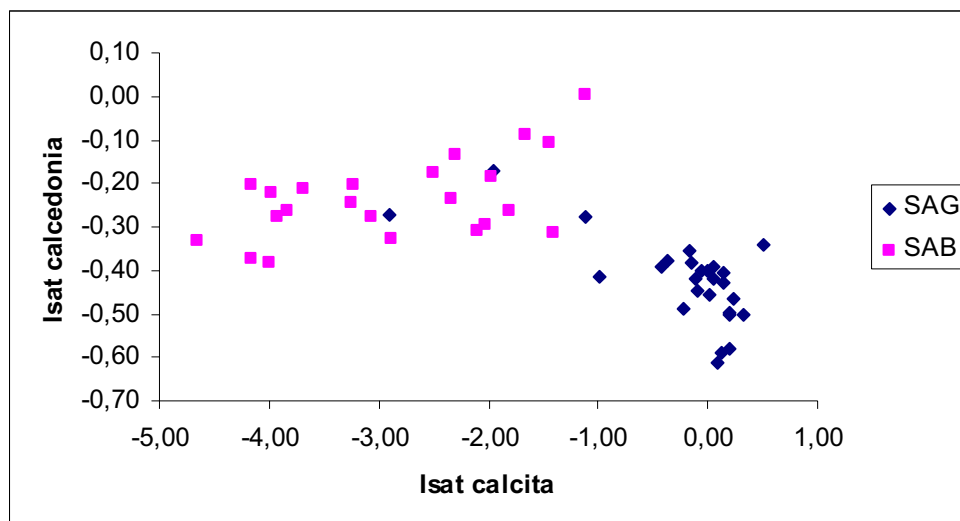


Figura 4.34 - Índice de saturação da calcedônia *versus* índice de saturação da calcita.

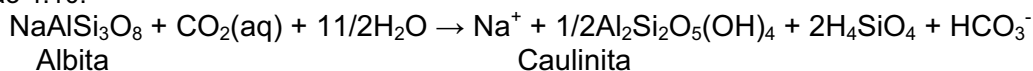
4.2.6 Análise de termodinâmica - argilominerais

A origem dos argilominerais está relacionada às reações incongruentes de minerais silicáticos detríticos com a água, o que resulta na liberação de cátions, sílica e/ou bicarbonato e formação de minerais autigênicos. A combinação das condições hidrológicas com a razão das reações determina os produtos gerados (APPELO; POSTMA, 2005).

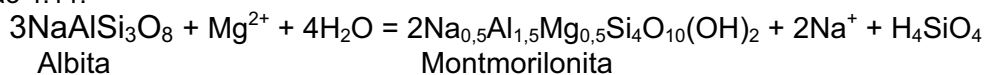
Nas unidades litoestratigráficas que compõem o SAG e o SAB, foi identificada matriz constituída predominantemente por quartzo e feldspatos, e cimento constituído pelos minerais caulinita, óxido-hidróxidos de ferro, montmorilonita, micas, entre outros.

As figuras 4.35 a 4.37 apresentam os diagramas de equilíbrio entre os feldspatos e os minerais de alteração. As reações de transformação da albita em caulinita e montmorilonita estão representadas nas equações 4.10 e 4.11.

Equação 4.10:

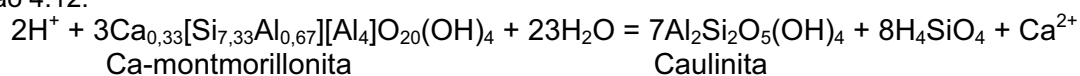


Equação 4.11:



A reação de transformação da montmorilonita em caulinita está representada na equação 4.12.

Equação 4.12:



Ca-montmorillonita

Caulinita

Sistema Aquífero Guarani

Os diagramas de equilíbrio $\text{NaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ e $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (Figuras 4.35 e 4.36) indicam o equilíbrio das águas do SAG no campo de estabilidade das montmorilonitas, à exceção das amostras 2002 e 2012 que apresentam estabilidade no campo das caulinitas, assim como as amostras do SAB.

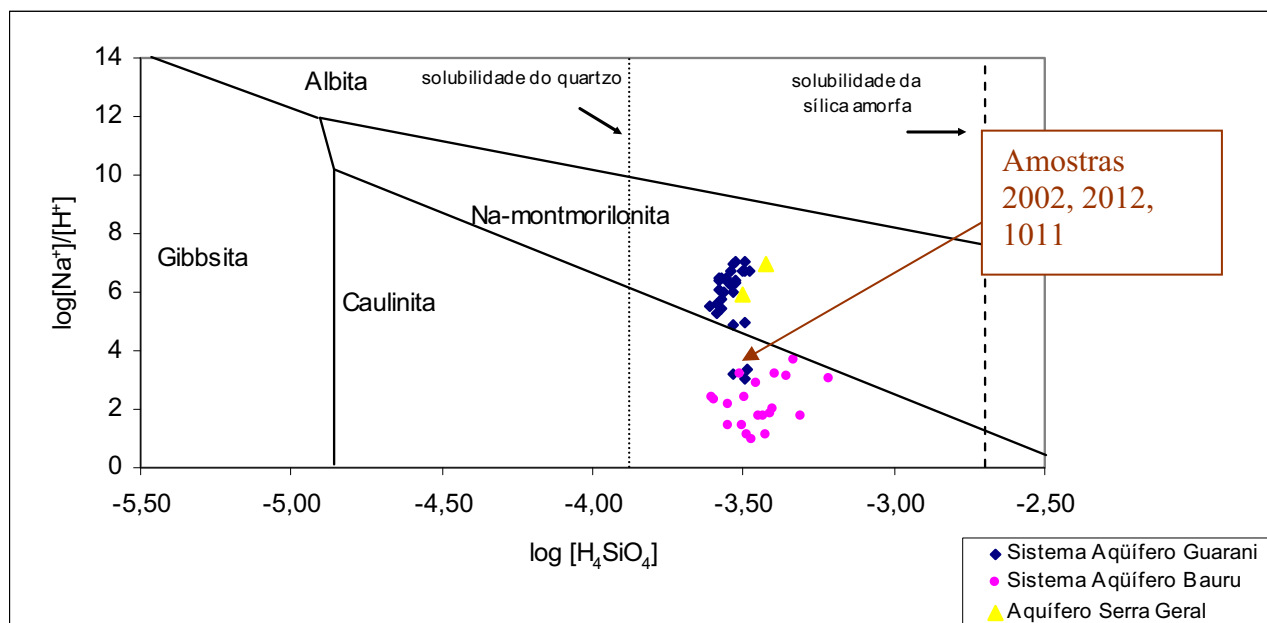


Figura 4.35 - Diagrama de estabilidade NaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (25°C).

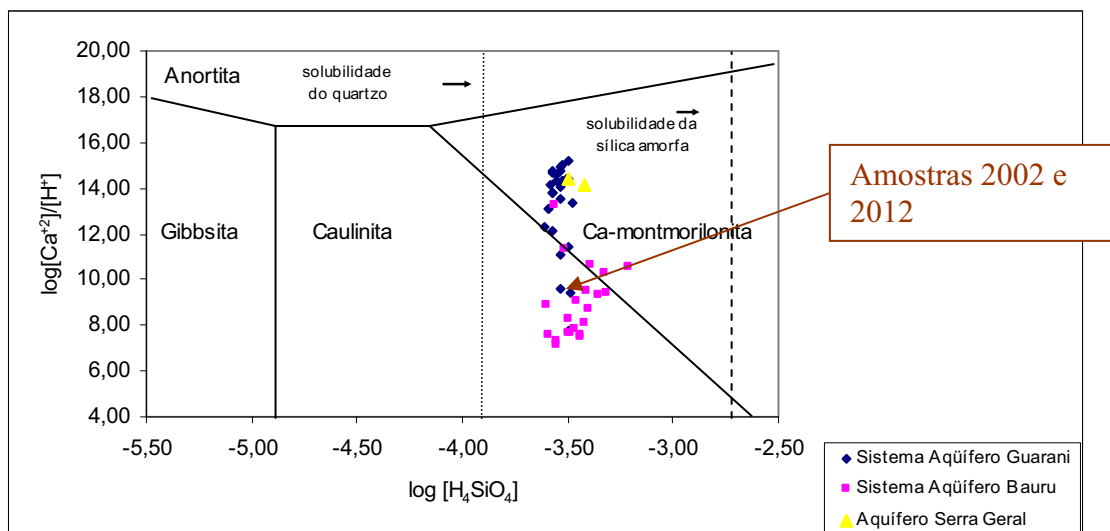


Figura 4.36 - Diagrama de estabilidade $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (25°C).

No diagrama de estabilidade $\text{K}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (Figura 4.37), as amostras do SAG estão situadas entre o campo de estabilidade do microclínio e da caulinita, o que pode indicar origem a partir da alteração do feldspato potássico (hidrólise). A reação pode ser representada pela equação 4.4.

O equilíbrio químico no campo das montmorilonitas indica maior tempo de residência da água subterrânea, com menor lixiviação de sílica e cátions durante a hidrólise do feldspato em argilominerais.

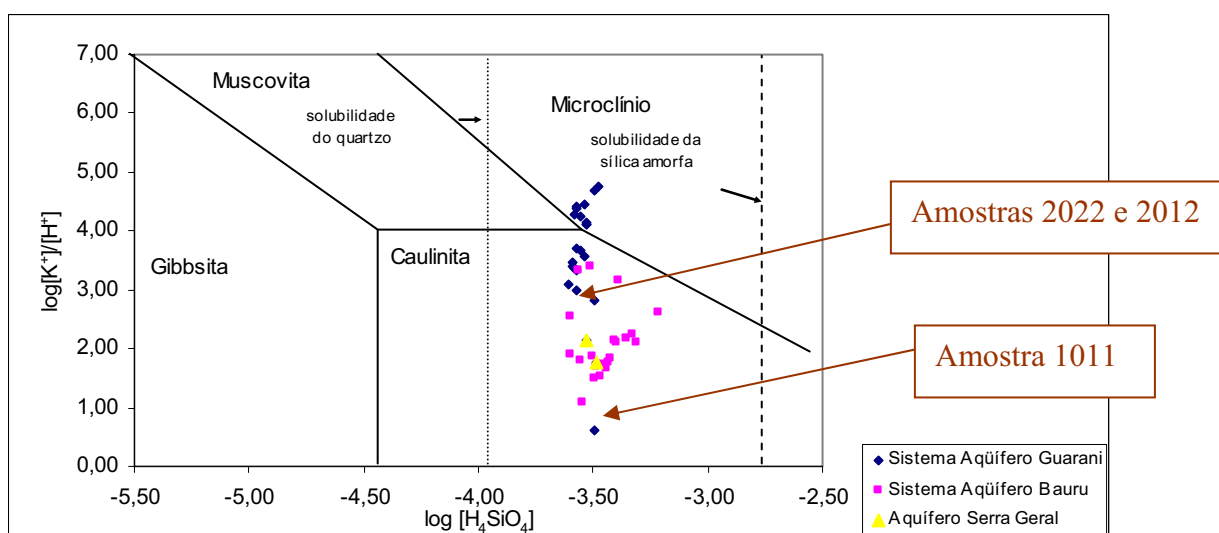


Figura 4.37 - Diagrama de estabilidade $\text{K}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (25°C).

Estes resultados são compatíveis com a composição mineralógica dos arenitos do SAG. A presença de minerais detríticos, como feldspato e

montmorilonita, e de minerais autigênicos, como montmorilonita, foi identificada em trabalhos petrográficos realizados por Caetano-Chang (1997) e Gesicki (2007) em amostras de arenitos do SAG.

Sistema Aquífero Bauru

O equilíbrio químico no campo das caulinitas (Figuras 4.35 a 4.37) e das montmorilonitas cálcicas (Figura 4.36) indica processos de hidrólise, com liberação de cátions e sílica no meio aquoso. A maior quantidade de sílica liberada no SAB também pode ser observada nestes gráficos pela maior concentração iônica de sílica, principalmente para as amostras próximas ao campo das montmorilonitas cálcicas (Figura 4.36).

Estes resultados são compatíveis com a composição mineralógica observada nos arenitos do SAB. A presença de minerais detríticos, como feldspato e montmorilonita, e de minerais autigênicos, como caulinita e montmorilonita, foi identificada em trabalhos petrográficos realizados por Campos (1987), Fernandes (1992, 1998), Barison (2003) e Stradioto (2007) em amostras de arenitos do SAB.

4.2.7 Influência antrópica - nitrato e cloreto

A Portaria 518/04, estabelece como VMP para nitrato, a concentração de 10 mg/L. Este íon tem como efeito toxicológico quando consumido em concentrações superiores ao permitido, a metahemoglobinemia em crianças (USEPA, 1991).

A atenuação das concentrações de nitrato não está associada a processos de precipitação ou de sorção, mas pode ocorrer partir da desnitrificação (Appelo e Postma, 2005) em ambiente redutor.

O nitrato é citado como o principal contaminante nas águas do SAG e SAB no município de Bauru e, por esta razão, o gerenciamento dos recursos hídricos pelo Departamento de Águas e Esgoto do município (DAE-Bauru) tem incluído: cadastramento de poços particulares, solicitação de regularização e análises químicas destas águas, mapeamento de zonas críticas e solicitação de outorga de tamponamento de acordo com as normas técnicas sanitárias (Giafferis; Oliveira,

2007), além de obras de implantação de estação de tratamento de esgotos para o município (informação obtida no DAE Bauru em 2008). A principal fonte considerada por Giafferis e Oliveira (2007), a partir da evidência de contaminação na porção central da área urbana, deve-se às tubulações de esgoto mais antigas do município.

O contínuo vazamento de efluentes, a partir de tubulações antigas ou de fossas, libera grandes volumes de nitrogênio amoniacal para a zona não saturada, lixiviado continuamente para a zona saturada. O nitrogênio amoniacal pode gerar formas mais oxidadas (nitrito e nitrato), a partir da nitrificação, e/ou fixar no solo, a partir de troca catiônica entre argilominerais e matéria orgânica (NOMMIK & VAHTRAS, 1982 apud Martins, 2008).

Em estudo realizado por Varnier (2007) no município de Urânia, a infiltração do efluente no subsolo possibilitou a migração de uma grande quantidade de nitrogênio amoniacal para a zona não saturada, cuja rápida oxidação gerou uma produção maciça de nitrato no solo. Também é citada neste trabalho, a capacidade de diluição do aquífero, somada à possibilidade da existência de desnitrificação na zona não saturada em microcosmo (nos poros dos sedimentos), pelo excesso de matéria orgânica de uma fossa negra. Por esse motivo, a autora alerta sobre a necessidade de se definirem os riscos a que os aquíferos estão submetidos em áreas urbanas.

Nos estudos realizados por Martins (2008) e Varnier (2007), tem-se caracterizada a forte correlação entre o nitrato e cloreto. O cloreto está associado à uréia, é utilizado na fabricação de papel, em alvejantes e anti-sépticos e tem mobilidade muito alta em todas as condições ambientais, sendo suas principais fontes antropogênicas.

Sistema Aquífero Guarani

Estudos realizados por Giafferis e Oliveira (2006, 2007), caracterizaram o impacto existente no SAB por nitrato, e mostram a preocupação em relação a vulnerabilidade do SAG, que é responsável por aproximadamente 60% do abastecimento hídrico do município.

As concentrações de nitrato e cloreto no SAG ocorrem principalmente na porção central da área urbana, assim como no SAB. As figuras 4.38 e 4.39

apresentam a distribuição, em planta, para nitrato e cloreto, obtidas no presente estudo.

Nota-se que as águas subterrâneas, em 02 poços instalados no SAG, apresentam-se impactadas com concentrações de nitrato acima do VMP da Portaria 518/04; e as maiores concentrações de nitrato e cloreto estão associadas aos poços (2012, 2002, 2017) que apresentam menor espessura da formação Botucatu e/ou Pirambóia, estando nas porções mais rasas do SAG (Figuras 4.40 e 4.41), mostrando assim sua origem por provável fonte antropogênica, a partir de vazamento de tubulações de esgoto associado a aspectos construtivos destes poços.

Observa-se ainda para o SAG correlação positiva do nitrato com o sulfato, cloreto, cálcio, potássio e magnésio, e correlação negativa com o bicarbonato (tabela 4.2) e com o pH (-0,60). As maiores concentrações de cálcio, potássio, magnésio, cloreto e os menores valores de pH indicam possível mistura destas águas com o SAB, que apresenta menores valores de pH e maiores concentrações dos cátions cálcio, potássio e magnésio. As concentrações de nitrato associadas aos valores de Eh indicam que o ambiente é oxidante e favorece a estabilidade do nitrato na água.

Sistema Aquífero Bauru

Estudos realizados por Barison (2003) e Campos (1987), no SAB, verificaram a presença do íon Cl^- restrita a pequenas áreas. Campos (1987) relacionou-a as menores espessuras do Grupo Bauru e à maior proximidade de basaltos. Para as águas do SAB, na área urbana de Bauru, que apresenta arcabouço com espessura média de 120m, esta concentração pode ter origem antrópica, dada a correlação com as concentrações de nitrato.

As concentrações de nitrato e cloreto no SAB ocorrem principalmente na porção central da área urbana, em poços com diferentes profundidades (Figuras 4.40 e 4.41). Em 3 poços que apresentam seção filtrante neste aquífero, foram obtidas concentrações de nitrato acima do VMP da Portaria 518/04. As concentrações destes íons estão relacionadas provavelmente, a proximidade com a área fonte (antigas fossas, tubulações antigas de esgoto), ainda que a rede coletora

de esgotos atenda 99% do município há 15 anos. As figuras 4.38 e 4.39 apresentam a distribuição, em planta, para nitrato e cloreto, obtidas no presente estudo.

Ressaltam-se ainda como características hidroquímicas observadas para este aquífero a correlação entre as concentrações de nitrato com o cloreto, magnésio e sódio (Tabela 4.3), e condutividade elétrica (0,72). A correlação positiva com as concentrações de sódio e magnésio indica que a presença destes íons também pode estar relacionada a uma fonte antropogênica, tal como o nitrato e o cloreto. As concentrações de nitrato associadas aos valores de Eh indicam que o ambiente é oxidante e favorece a estabilidade do nitrato na água.

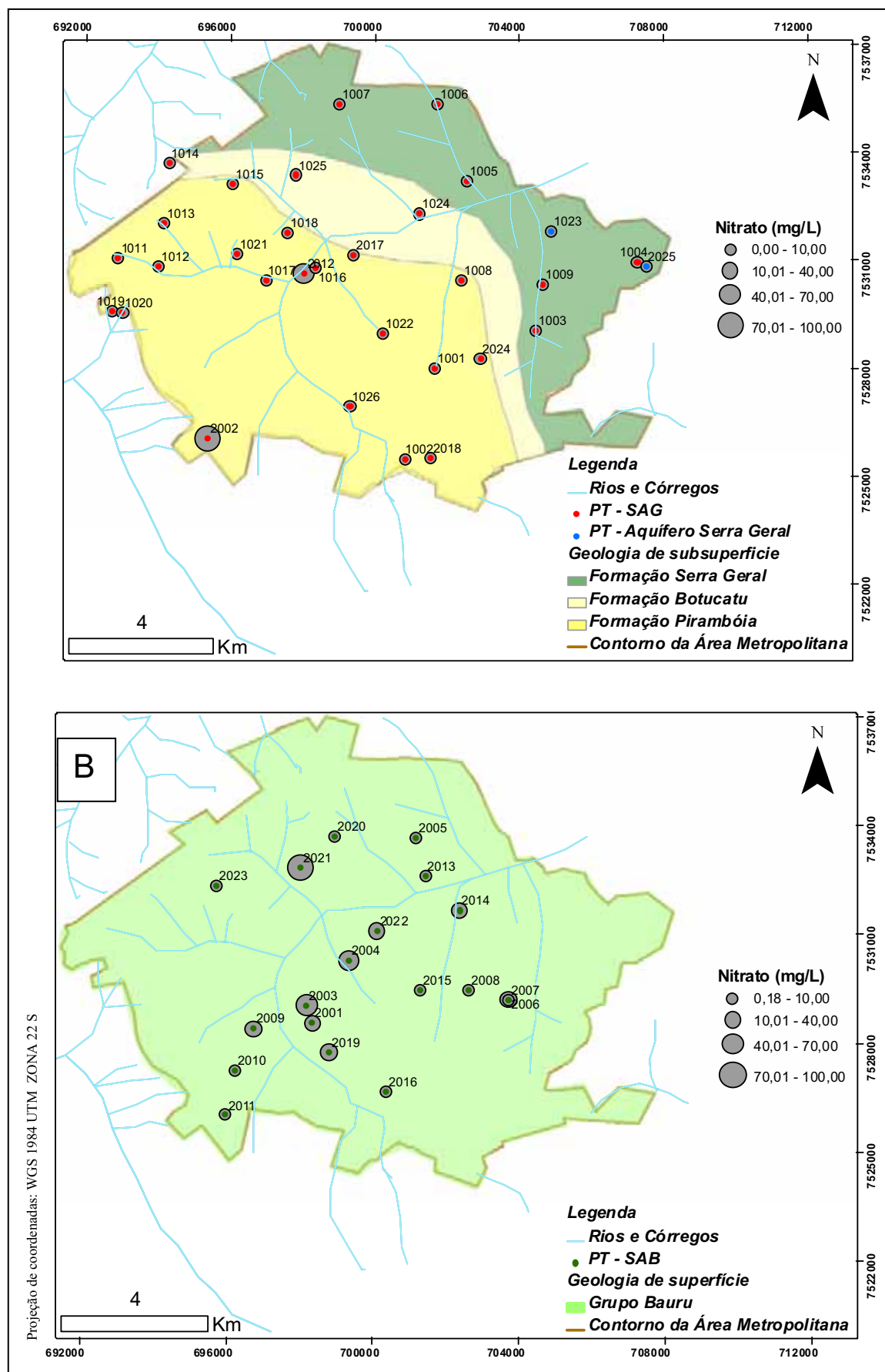


Figura 4.38 – Distribuição de nitrato_N em planta no SAG (Mapa A) e SAB (Mapa B)

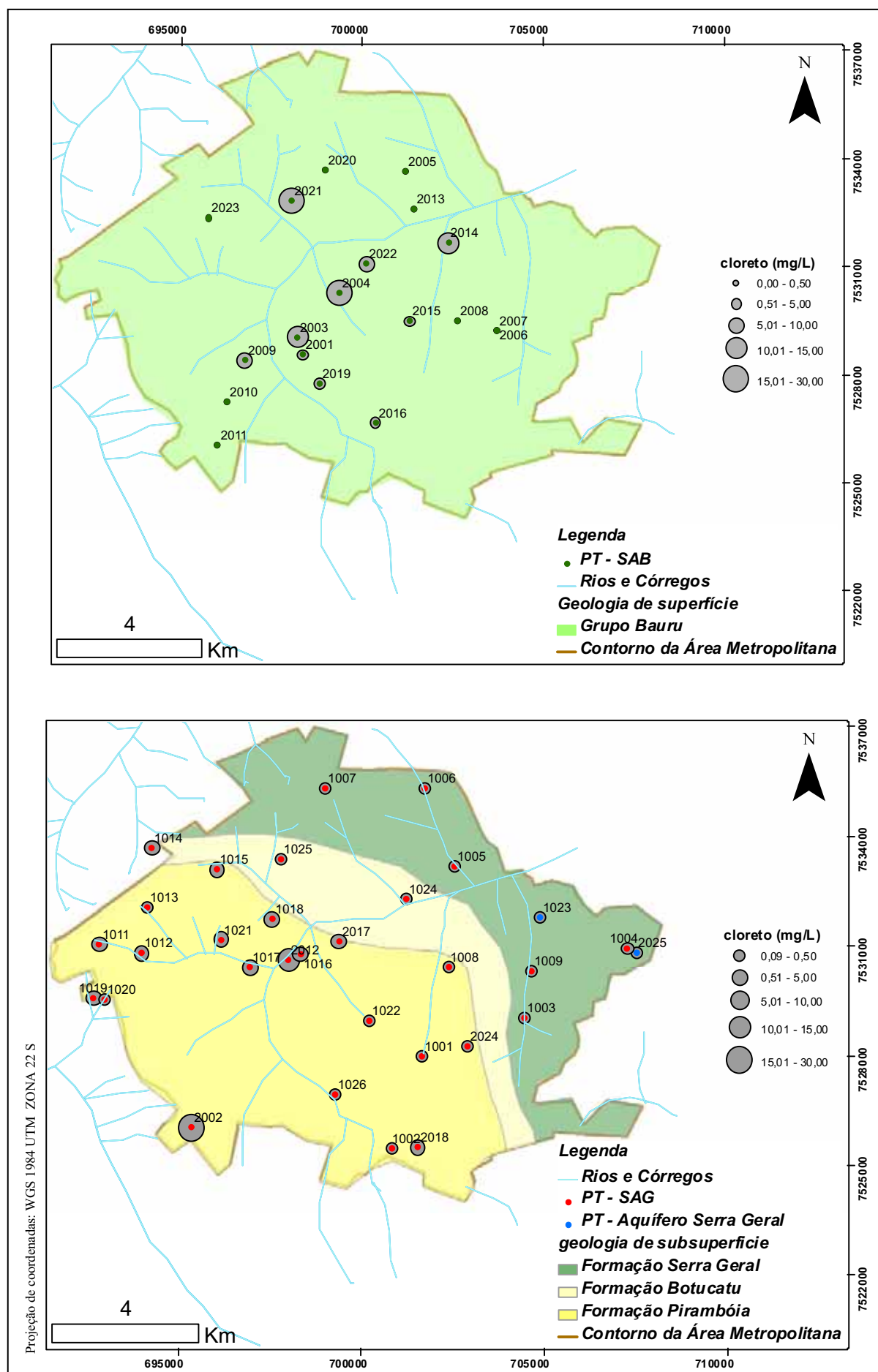


Figura 4.39 – Distribuição de cloreto em planta no SAB (Mapa A) e SAG (Mapa B).

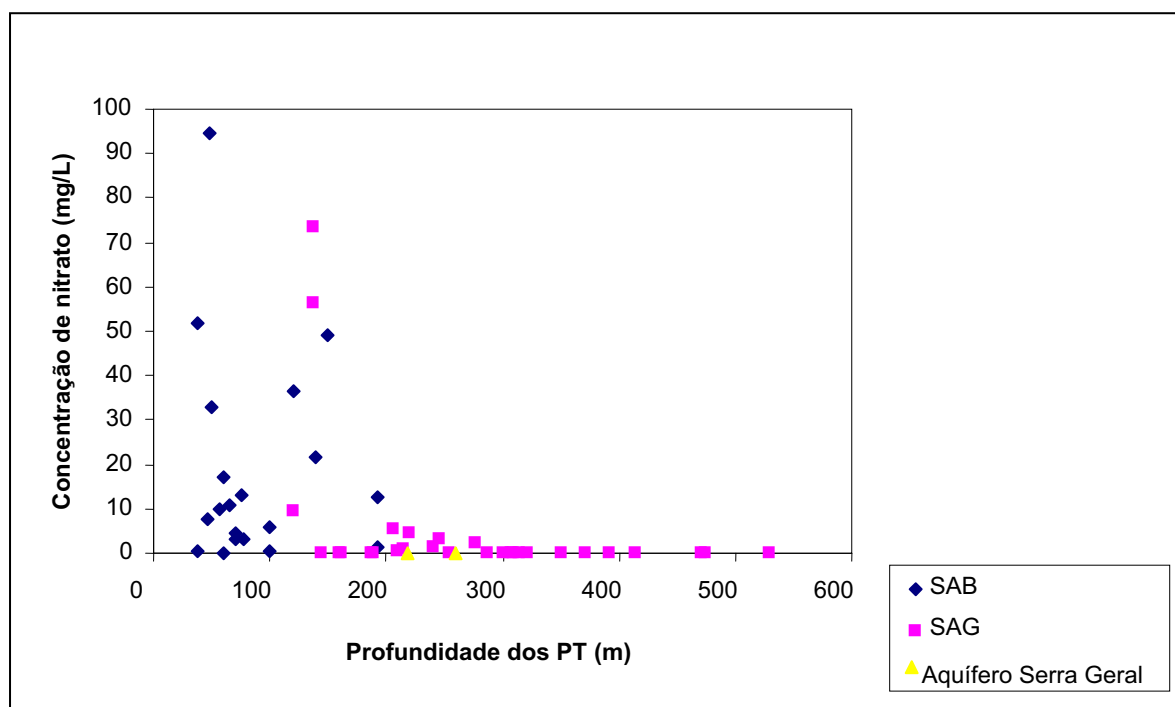


Figura 4.40 – Relação entre profundidade dos poços e concentração de nitrato.

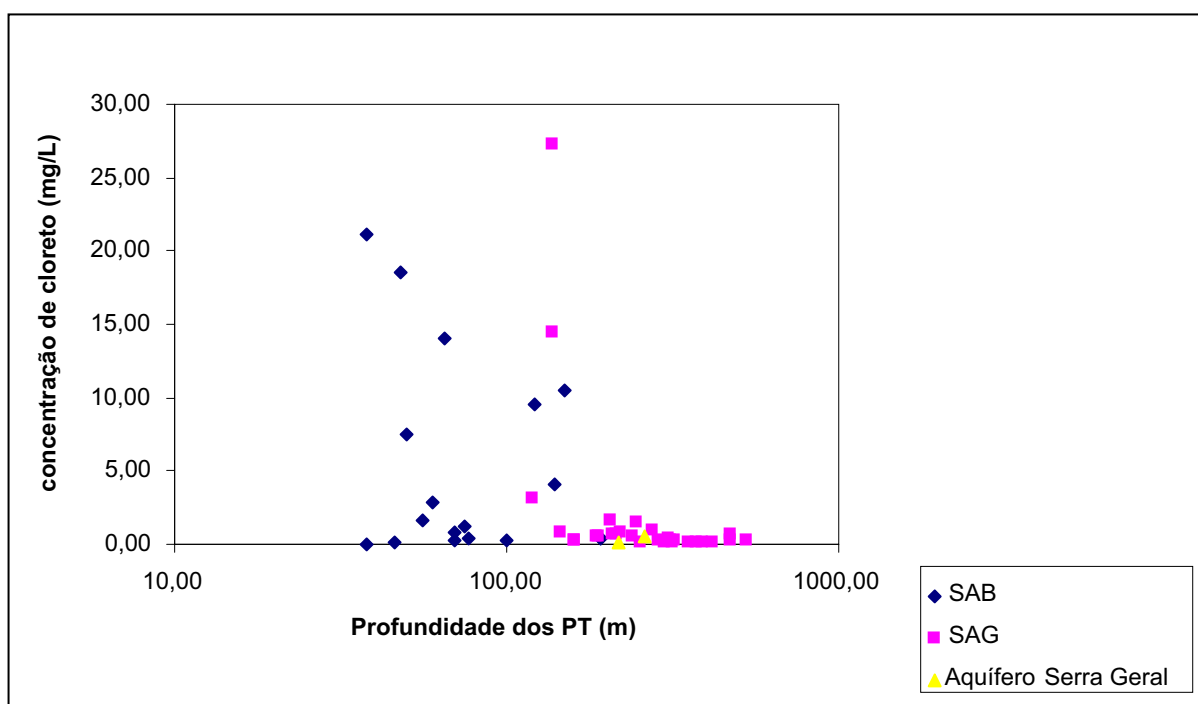


Figura 4.41 – Relação entre profundidade dos poços e concentração de cloreto

5 MODELO HIDROGEOQUÍMICO CONCEITUAL

A análise hidrogeoquímica empreendida na presente pesquisa tem caráter local, ainda que inserida regionalmente num contexto de evolução hidroquímica das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Bauru e Guarani. Na área de estudo, área urbana do município de Bauru com aproximadamente 175 km² de área, afloram rochas sedimentares das formações Marília e Adamantina (Grupo Bauru) e, a aproximadamente 55 km a norte/nordeste deste município, afloram as rochas das formações Pirambóia e Botucatu.

A unidade geológica que constitui o SAB na área de estudo é a Formação Adamantina; a Formação Marília, sobreposta a esta, apresenta pequenas espessuras, menores do que 20 metros, e por esta razão não é individualizada em seções de perfilagem geofísica (Cavaguti e Paula e Silva, 1992), feitas em poços de abastecimento da área.

Dentre as características hidrogeológicas apresentadas pelo SAB, na área estudada, destacam-se:

- recarga do aquífero por águas meteóricas recentes (Barison, 2003);
- tempo de residência curto das águas subterrâneas (Barison 2003);
- composição mineralógica das formações Adamantina e Marília, constituídas por quartzo, feldspatos, montmorilonitas, ilitas e calcita (Barison 2003, Stradioto, 2007, Fernandes 2008);

- baixas razões iônicas entre sódio e cálcio;
- estabilidade hidrogeoquímica no campo das montmorilonitas e/ou caulinitas;
- insaturação em calcita e calcedônia.

Estes dados indicam que os processos que predominam na composição hidroquímica das águas do SAB são os de hidrólise (monossilificação), com neoformação de oxi-hidróxidos e caulinita, e dissolução de minerais.

A água meteórica, ácida e de baixa condutividade elétrica (Tabela 3.2) percola os sedimentos das formações do SAB. O baixo pH desta água, a disponibilidade de CO_2^- , a insaturação em calcita e calcedônia, são concordantes com características de aquíferos em sistemas abertos, sejam do SAG (Silva, 1983; Gastmans, 2007) ou do SAB (Stradioto, 2007; Barison, 2003), em que a água que infiltra na rocha reagindo com minerais detríticos (tais como feldspatos). A hidrólise de minerais silicáticos libera sílica e cátions, com neoformação/ substituição de óxidos, hidróxidos e argilominerais. Já com os minerais carbonáticos, ocorre processo de dissolução, com a liberação dos íons carbonato e cálcio. Os produtos minerais da neoformação e a constituição hidroquímica da água estão associados ao tempo de residência da água no meio e à disponibilidade de íons.

Já em relação às concentrações de nitrato, deve-se considerar sua correlação com o cloreto, magnésio, sódio e condutividade elétrica, à grande densidade demográfica e a presença de fossas sépticas e tubulações de esgoto antigas. Assim, as maiores concentrações de sódio, observadas em algumas amostras, podem estar relacionadas a fontes antrópicas, tal como o nitrato e o cloreto. Neste caso, a maior vulnerabilidade do SAB está relacionada à sua maior proximidade com a fonte primária dos contaminantes (antigas tubulações de esgoto).

O SAG é constituído pelas formações Botucatu e Pirambóia do Grupo São Bento, com o topo a profundidades que variam de 58 a 193 m (considerando os dados de outorga dos poços tubulares contemplados nesta pesquisa), na área urbana da cidade de Bauru. Está coberto pelas formações do Grupo Bauru, que tem a base composta por sedimentos pelíticos, conforme perfis geofísicos (PAULA E SILVA; CAVAGUTI, 1994).

Dentre as características hidrogeológicas apresentadas pelo SAG, na área de estudo, destacam-se:

- recarga do aquífero por águas meteóricas de até 13.000 anos ATP (Portugal, 2007);
- tempo de residência longo das águas subterrâneas;
- composição mineralógica das formações Botucatu e Pirambóia, constituídas por quartzo, argilominerais, óxido-hidróxidos de ferro, calcita (Caetano-Chang, 1997; Gesicki, 2007);
- altas razões iônicas entre sódio e cálcio;
- estabilidade da composição hidroquímica no campo das montmorilonitas e microclínio;
- saturação em calcita e quartzo;
- pH básico.

Estes dados indicam que os processos determinantes na composição hidroquímica das águas do SAG são os de hidrólise (bissialitização) e dissolução/precipitação. Este sistema aquífero apresenta maior grau de confinamento, sem recarga meteórica direta (sistema fechado), diferentemente do SAB. A disponibilidade de CO₂, proveniente do ar ou da degradação de matéria orgânica, é menor ou ausente; o pH é básico e a calcita apresenta-se saturada, tal como observado em águas subterrâneas de sistemas fechados, com pH básico e baixa pressão de gás carbônico (Stradioto, 2007; Gastmans, 2008), favorecendo a saturação em calcita. A origem do sódio pode ter relação com a alteração de feldspatos ou com troca catiônica do sódio pelo cálcio nos argilominerais, como sugerido por Silva (1983) e Sracek e Hirata (2002).

Em relação às concentrações de nitrato, deve-se considerar a correlação positiva com os íons sulfato, cloreto, cálcio, potássio e magnésio, e correlação negativa com o bicarbonato e pH. Estas características são sugestivas de uma mistura entre as águas do SAG e do SAB, principalmente nas amostras que apresentaram as maiores concentrações para nitrato e cloreto. Contudo, deve-se avaliar que os poços que apresentaram as maiores concentrações para nitrato têm seção filtrante na porção superior do SAG, mais próximo ao SAB, de forma que a presença deste íon pode estar associada às características construtivas destes poços.

As características hidroquímicas distintas apresentadas pelas águas do SAB e do SAG, evidenciadas pelos resultados apresentados na classificação (diagramas de Piper e Stiff) e em estudo de estatística multivariada, mostram que estes sistemas aquíferos apresentam-se em compartimentos distintos e sem uma significativa interconexão que possa promover a mistura das águas. Ainda que apresentem cargas hidráulicas que poderiam gerar tal mistura, o contexto sedimentológico-estratigráfico entre esses sistemas aquíferos, tal como a presença de camadas mais pelítica na base da Formação Adamantina, permitiu o confinamento do SAG em relação ao SAB.

6 CONCLUSÕES

6.1 *Sistemas Aquíferos – SAG e SAB*

Os sistemas aquíferos Guarani e Bauru são bastante explorados no centro-oeste do estado de São Paulo. Considerando que para a adequada gestão deve-se dispor do conhecimento sobre o comportamento e a vulnerabilidade de aquíferos, este estudo teve como objetivo complementar as informações sobre o SAG e o SAB na porção central do estado de São Paulo, tomando como exemplo o município de Bauru. O interesse desse estudo está associado ao contexto sedimentológico-estratigráfico destes dois sistemas aquíferos nesta área, em que ocorre o contato direto, discordante e erosivo, entre o Grupo Bauru e as formações Botucatu e Pirambóia, com ausência da Formação Serra Geral na maior parte da área urbana de Bauru.

A caracterização hidroquímica dos dois sistemas aquíferos para a avaliação de possível interconexão entre o SAG e SAB foi baseada em resultados analíticos de amostras de água subterrânea coletadas em poços tubulares explorados no município. Não foi possível, durante a amostragem, realizar o monitoramento do nível da água subterrânea estático dos poços, uma vez que todos estavam em bombeamento. No entanto, a partir de dados históricos obtidos em pesquisa realizada nas outorgas disponibilizadas no DAEE de Araraquara, foi verificado que a carga hidráulica do SAB é superior à do SAG. Nota-se ainda, a partir das características estratigráficas e sedimentares das formações que constituem os aquíferos, que o SAB é um aquífero livre enquanto o segundo é caracterizado como aquífero confinado.

Os poços estão instalados a diferentes profundidades e, segundo os dados de outorga, não possuem filtros que abrangem os dois sistemas aquíferos, em um mesmo poço. Atualmente, 99% da cidade de Bauru têm abastecimento de água e a captação de esgoto.

As águas do SAG estão em equilíbrio químico com as montmorilonitas, apresentam saturação em calcita, possuem como cátion predominante o sódio, com correlação negativa com o cálcio, e são predominantemente básicas. Estas

características são concordantes com aquelas descritas nas águas do SAG em porções de confinamento moderado (Silva, 1983).

O SAB apresenta água predominantemente bicarbonatada cálcica, com pH ácido, como já observado em estudos anteriores. O presente estudo identificou a presença significativa e disseminada (entre os 4 íons predominantes) de cloreto e nitrato.

Com relação ao equilíbrio químico, as águas do SAB apresentam-se em equilíbrio com a caulinita, assim como a predominância dos íons cálcio, potássio e magnésio, e a insaturação em carbonatos, características comuns em aquíferos livres, com baixo tempo de residência, aporte de CO_2^- na água subterrânea (proveniente da atmosfera e da matéria orgânica no solo superficial), pH ácido, lixiviação de íons em reações congruentes (ex. dissolução de minerais carbonáticos) e incongruentes (ex. hidrólise de minerais feldspáticos). Observou-se ainda, por meio dos diagramas de Stiff, maior variabilidade entre as concentrações iônicas dos íons e da condutividade elétrica nas águas do SAB, com relação às águas do SAG, fato este provavelmente relacionado à maior proximidade com a superfície e à ação antrópica, já que as maiores condutividades estão associadas às maiores concentrações de nitrato e cloreto.

Estas diferenças entre as características hidroquímicas dos dois sistemas aquíferos, denotam a ausência de mistura significativa entre ambos. Este isolamento tem origem provável nas porções argilosas existentes principalmente na base da Formação Adamantina, conforme já verificado em estudos anteriores.

6.2 Ação antrópica

Com relação à presença de nitrato e cloreto, com valores acima dos limites de potabilidade da Portaria 518/04, observa-se, dentro da malha amostral deste estudo, que as maiores concentrações encontram-se na porção central da área urbana de Bauru.

Segundo informações obtidas no DAE de Bauru, 99% do esgoto é captado e liberado *in natura*, no rio Bauru. Em condomínios localizados na porção sul da área urbana, e em um condomínio localizado na porção norte, a disposição de esgoto

ainda é realizada em fossas sépticas. A estação de tratamento de esgotos começou a ser implementada a partir de 2006.

A contaminação por cloreto e nitrato está relacionada a vazamentos em tubulações antigas de esgoto e à maior vulnerabilidade do SAB. Com relação ao impacto de nitrato identificado no SAG (em dois poços particulares, 2002 e 2012), pode-se inferir, com base nas profundidades dos poços que apresentaram as maiores concentrações, que não é resultante de uma interconexão entre aquíferos, mas consequência de aspectos construtivos dos poços. Contudo tal situação só poderia ser atestada com a checagem da posição exata do filtro (por perfilagem ótica) e da estratigrafia do local (por geofísica ou nova sondagem).

É importante ressaltar que a contaminação, via poço, devido suas características construtivas, é fato importante a ser considerado no gerenciamento dos recursos hídricos do município, já que pode ser caracterizada como uma fonte pontual ativa de contaminação que deve ser eliminada, seja por um maior controle na construção dos poços, seja com o tamponamento daqueles que oferecem risco à contaminação do SAG.

7 BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, M.A.; STEIN, D.P.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A.; PONÇANO, W.L.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. Geologia do oeste paulista e áreas fronteiriças dos estados do Mato Grosso do Sul e Paraná. 1980. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Balneário de Camboriú. **Anais...** Balneário de Camboriú: SBG. V. 5, p. 2.799-2.812.

APPELO, C.A.J.; POSTMA, D. **Geochemistry, groundwater and pollution**. 2ª ed. Amsterdam: Balkema Publishers, 2005, 650 p.

ARAUJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; POTTER, P.E. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with Navajo-Nugget aquifer system, USA. **Hydrogeology Journal**, Reston, v. 7, p. 317–336, 1999.

BARISON, M.R. **Estudo Hidroquímico na Porção Meridional do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. 153 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

BERTOLO, R.; HIRATA, R.; SRACEK, O. Geochemistry and geochemical modeling of unsaturated zone in a tropical region in Urânia, São Paulo state, Brazil. **Journal of Hydrology**, San Diego, v. 329, p. 49– 62, 2006.

BRANDT NETO M. 1977. **Estratigrafia da Formação Bauru na região do baixo Tietê**. 1977. 74 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.

BRANDT NETO, M. **O Grupo Bauru na região centro-norte do estado de São Paulo**. 1984. São Paulo. 2v. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

CAETANO-CHANG, M.R. **A Formação Pirambóia no centro-leste do estado de São Paulo**. 1997. 196p. Tese (Livre Docência em Geologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

CAETANO-CHANG, M.R.; WU, F.T. Arenitos flúvio-eólicos da porção superior da Formação Pirambóia, na porção centro-leste paulista. **Revista Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 36, n.2, p. 296-304, 2006.

CAMPOS, H.C.N.S. **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do estado de São Paulo**. 1993. 177 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

CAMPOS, H.C.N.S. **Contribuição ao estudo hidrogeoquímico do grupo Bauru no estado de São Paulo**. 1987. 105 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

CAVAGUTI, N.; PAULA E SILVA, F. Gestão dos recursos hídricos subterrâneos na cidade de Bauru – SP, face às características hidrogeológicas especiais da região. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. n. 7, 1992, Recife. **Anais...** Recife:ABAS, 1994. p. 74-79.

CAVALCANTE, I.N; SANTIAGO, M.M.F.; REBOUÇAS, A.C. Hidroquímica dos sistemas aquíferos manto de intemperismo e meio fraturado na região de Atibaia, estado de São Paulo. **Revista de Geologia**. São Paulo, v. 11, p. 31-39, 1998.

CAVALCANTE, ITABARACI NAZARENO. SANTIAGO, MARIA MARLUCIA F. . REBOUÇAS, ALDO DA CUNHA. Hidroquímica dos sistemas aquíferos manto de intemperismo e meio fraturado na região de Atibaia, estado de São Paulo, **Revista de Geologia**, São Paulo, v. 11, p. 31-39, 1998.

CHANG, H.K., Utilização atual do Aquífero Guarani. In: JORNADA ESTADUAL AQUÍFERO GUARANI, n. 1, 2006, Botucatu, **Atas...**, cd-rom., 2006.

CLARK, I. D.; ARAVENA, R. Environmental isotopes in groundwater resource and contaminant hydrogeology. San Diego: NGWA, 2005. 103 p. (NGWA COURSE #394 – January 25-26).

COELHO, R.O. **Estudo hidroquímico e isotópico do Aquífero Bauru, sudoeste do estado de São Paulo**. 1996. 103 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2004-2006**. São Paulo: CETESB, 2007. Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103. 199 p.

CPRM. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Salvador. GEOBANK. escala 1: 750000. 2006. Acessado em 19 de abril de 2007.

CUSTÓDIO, E; LLAMAS, M.R. **Hidrologia subterrânea**. 2ª ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1996. 2v. 2350 p.

DAVIS, J.C. **Statistics and data analysis in geology**. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, 1986. 646 p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **Estudo de águas subterrâneas**: regiões administrativas 7,8 e 9 Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba – SP, São Paulo: ENCO, 1976, 4 v.

DONATTI L.M., SAWAKUCHI A.O., GIANNINI P.C.F., FERNANDES L.A. The Pirambóia-Botucatu succession (Late Permian-Early Cretaceous, Paraná Basin, São Paulo and Paraná States): two contrasting eolian systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 73, n. 3, p. 465, 2001.

DREVER, J.I. **The geochemistry of natural waters**: surface and groundwater environments. 3rd. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997. 436 p.

EATON, A.D.; CLESCERI, L.S., GREENBERG, A.E. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**: 19th ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 1258 p.

FERNANDES, L.A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. 216 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

FERNANDES, L.A.. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP)**: os grupos Bauru e Caiuá. 1992. 192 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FRANÇA, A.B.; ARAÚJO, L.M.; MAYNARD, J.B.; POTTER, P.E. Secondary porosity formed by deep meteoric leaching: Botucatu eolianite. **Southern South America**. Tulsa: AAPG Bulletin, v. 87, n. 7, p. 1073-1082, 2003.

FÚLFARO, V.J.; BÓRIO, N.J. Novas observações sobre a faciologia do arenito Botucatu no estado de São Paulo. 1968. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOCIÊNCIAS, n. 22, 1968, Belo Horizonte, **Bol. Resumos...**, Belo Horizonte: SBG, 1968. p. 57-59.

GARCIA, A.V.G.; ROSA, A.A.S.; GOLDBERG, K. Paleoenvironmental and paleoclimatic control on early diagenetic processes and fossil record in Cretaceous continental sandstones of Brasil. **Journal of South American Earth Sciences**. Amsterdam. V. 19, p. 243-258, 2005.

GARRELS, R.M.; CHRIST, C.L. **Solutions, minerals and equilibria**. New York: Harper & Row, 1965. 450 p.

GASTMANS, D. **Hidrogeologia e hidroquímica do sistema aquífero Guarani na porção ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná**. 2007. 197 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

GESICKI, A.L.D. **Evolução diagenética das formações Pirambóia e Botucatu (Sistema Aquífero Guarani) no estado de São Paulo**. 2007. 175 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GIAFFERIS, G. P.; OLIVEIRA, E.L. Gestão da Qualidade das Águas Subterrâneas pela Autarquia Municipal de Água no Município de Bauru – SP. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. n. 17. São Paulo, 2007, **Anais...**São Paulo: ABRH, 2007.

GIAFFERIS, G.P.; OLIVEIRA, E.L. Investigação da Qualidade das Águas Subterrâneas do Município de Bauru. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, n. 14, Curitiba, 2006. **Anais...**Curitiba: ABRH, 2006.

GIANNINI, P.C.F.; SAWAKUCHI, A.O.; FERNANDES, L.A.; DONATTI, L.M. Paleoventos e paleocorrentes subaquosas do sistema Pirambóia nos estados de São Paulo e Paraná, Bacia do Paraná: Estudo Baseado em análise estatística de dados azimutais. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 282-292, 2004.

GIANNINI, P.F.C. **As formações Pirambóia e Botucatu nos estados de São Paulo e Paraná**. São Paulo. IGC-USP, 143 p. (relatório final de pesquisa), 2001.

GULER, C.; THYNE, G.D. Hydrologic and geologic factors controlling surface and groundwater chemistry in Indian Wells-Owens Valley area, southeastern California, USA. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.285, p 177-198, 2004.

HACHIRO, J.; COUTINHO, J.M.V.; RICOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; FERNANDES, L.A. O astroblema de Piratininga (São Paulo, Brasil). 1994. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, n. 3, Rio Claro, 1994, **Boletim...** Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 1994. p. 93-96.

HEM, J. D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. Alexandria: U.S.G.S., 1985. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2254. 272 p.

HIRATA R; BASTOS, C.; ROCHA, G. **Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: IG/CETESB/DAEE, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 1997. Série Documentos. 2 vol.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Mapa de solos do Brasil. São Paulo: IBGE. Escala 1:5000. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de unidades de relevo do Brasil**. São Paulo: IBGE. Escala 1:5000. 2006. 2ª ed.

INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS – **Ipmet Bauru**. Universidade Estadual Paulista. Acessado em: http://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu_esq1=&abre=ipmet_html/estacao/historico.php#. Acessado em 10 mar. 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, 1:1.000.000**. São Paulo: IPT. 1981, v.2. Monografia 5.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré**. 2000. São Paulo: Convênio IPT/DAEE. Relatório 40674.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística espacial de dados geológicos multivariados**. DGA/IGCE/Unesp rio claro. Laboratório de Geomatemática, texto didático 15, 158 p. 2006. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>> acessado em 10 jan. 2007.

MARTINS, V. T. DE S. **Aplicação de isótopos de Pb, Sr, H e O como traçadores da recarga e da contaminação de aquíferos metropolitanos: um exemplo da Bacia do Alto Tietê**. 2008. 220 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MATOS, S.L.F. **O contato Passa Dois-Pirambóia na borda leste da Bacia do Paraná**. 1995. 140 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MENG, S.X.; MAYNARD, J.B. Use os statistical analysis to formulate conceptual models of geochemical behavior: water chemical data from the Botucatu aquifer in São Paulo state, Brazil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 250, p. 78-97, 2001.

MILANI, J.M. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. MANTESSO-NETO, V. BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B. B. São Paulo: Beca; 2004, 647p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE 1994. Portaria 518, de 25 de março de 2004.

OGAWA, A.T.; CAMPOS, H.C.N.S. Aplicação de Análise Fatorial Para Dados Hidroquímicos do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. In: **II CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, Salvador, 1982, Salvador. **Anais...ABAS**, 1982. p. 335-344.

PARKHURST, D.L.; APPELO, C.A.J. **User's guide to PHREEQC (Version 2) — A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations**. Denver: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259, 1999. 310 p.

PAULA E SILVA F. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no estado de São Paulo**. 2003. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 166 p.

PAULA E SILVA, F.; BIANCHI NETO, C.; RICARDI, A.E.M.; SAPIO, A.J. Estudo estratigráfico do Grupo Bauru na região de Presidente Prudente com base em perfis geofísicos de poços para água. **Geociências**, Rio Claro, v. 1, p. 63-82, 1994.

PAULA E SILVA, F.; CAVAGUTI, N. Nova caracterização estratigráfica e tectônica do Mesozóico na cidade de Bauru - SP. **Geociências**, Rio Claro, v. 1, p. 83-99, 1994.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H. K.; CAETANO-CHANG, M.R. 2005. Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 19-36, 2005.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H. K.; CAETANO-CHANG, M.R. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 77-88, mar.2005.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H. K.; CAETANO-CHANG, M.R. Perfis de referência do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Geociências**, Rio Claro, v.especial, p. 21-32, 2003.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H.K.; CAETANO-CHANG, M.R. Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 19, n. 2, p.19-36, 2005.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H.K.; CAETANO-CHANG, M.R.; SINELLI, O. Arcabouço geológico e hidrofácies do sistema aquífero Guarani, no município de Ribeirão Preto (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, no prelo, 2008.

PEATE, D.W., HAWKESWORTH, C.J., MANTOVANI, M.S.M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas, South America: classification of magma types and their special distribution. **Bulletin of Vulcanology**, v.55, p. 119-139. 1992.

PORTUGAL, W. **Investigação hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Guarani no estado de São Paulo**. 2006. 45 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ROCHA G.A, GIANCURSI, F.D., PERRONI, J.C.A. SOBREIRO NETO, N.F., BERTA CHINI, A.C., CORREA W.A.G., CAMPOS, H.C.N.S.,DIOGO,A., ROSA, R.B.G. & CASTRO, C.G.J. Hidrologia das Bacias dos Rios Aguapeí, Peixe e Paranapanema no Estado de São Paulo. In. Simpósio Regional de Geologia, 2, 1979, Rio Claro, **Atas...**Rio Claro: SBG, 1979, v.2., p.85-100.

ROCHA, G. (org.). **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000**: nota explicativa. São Paulo: DAEE Departamento de Águas e Energia Elétrica: IG - Instituto Geológico: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2005. 119 p.

ROCHA-CAMPOS, A.C.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; SONOKI, H.M.; SONOKI, I.K. Age of the Paraná flood volcanism. In: Piccirillo EM, Melfi A.J. (eds). **The Mesozoic flood volcanism of the Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo: IAG-USP, p. 25-46, 1984.

ROHN, R. **Evolução ambiental da bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná**. 1994. 250 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SILVA, R.B.G. da. **Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no estado de São Paulo**. 1983. 133 p. Tese (Doutorado em Geologia Geral e de Aplicação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo: 1983.

SILVA, R.B.G. DA; KIMMELMANN, A.A.; REBOUÇAS, A.C. Estudo hidroquímico e Isotópico das Águas Subterrâneas do Aquífero Botucatu – Resultados Parciais para a Região Norte da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, n. 5, 1985. São Paulo. **Anais...**São Paulo: SBG, 1985, v.2, p.489-502.

SINELI, O. **Química das águas subterrâneas: aplicações às águas subterrâneas do Brasil meridional**. 1979. 130 p. Tese (Livre Docência em Geologia) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

SOARES, P.C. Divisão estratigráfica do Mesozóico no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.5, p. 229-251, 1975.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FÚLFARO, V.J.; SOBREIRO NETO A.F. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 3, p. 177-185. 1980.

SRACEK, O.; HIRATA, R. Geochemical and stable isotopic evolution of the Guarani aquifer system in the state of São Paulo, Brazil. **Hydrogeology Journal**, Reston, v. 10, p. 643-655, 2002.

STIFF, H.A.Jr. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. Reprinted: **Journal of Petroleum Technology**, Oxford, v. 3, n. 10, p. 15-16, 1951.

STRADIOTO, M.R. Hidroquímica e aspectos diagenéticos do sistema aquífero bauru na região sudeste do estado de São Paulo. 2007. 103 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2007.

STUMM W.; MORGAN, J.J. **Aquatic chemistry**: chemical equilibria and rates in natural waters. 3rd ed. New York: Wiley-interscience. 1996. 1022pp.

SUGUIO, K.; FULFARO, V.J.; AMARAL, G.; GUIDORZI, L.A. Comportamentos estratigráfico e estrutural da Formação Bauru nas regiões administrativas 7 (Bauru), 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Araçatuba) no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1, 1977, São Paulo. **Atas...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1977, p. 231-247.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA- (1995). Drinking water regulations and health advisors. URL <http://www.epa.gov>.

VARNIER, C. L. **Avaliação da contaminação de uma fossa negra desativada na zona não saturada do aquífero Adamantina em Urânia (SP)**. 2007. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 144 p.

VIDAL, A.C.; CHANG, H.K. Caracterização Hidroquímica dos Aquíferos da Bacia de Taubaté. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.32, n. 2, p. 267-276, 2002.

WU, F.T.; CAETANO-CHANG M.R. Estudo mineralógico dos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu no centro-leste do estado de São Paulo. **Revista Instituto Geológico do Estado do São Paulo**. São Paulo, v. 13, p. 58-68, 1992,

ZALAN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; ASTOLFI, M.A.M.; SANTOS, I.V.; CONCEIÇÃO, J.C.; APPI, V.T.; NETO, E.V.S.; CERQUEIRA, J.R.; MARQUES, A. The Paraná basin, Brazil. In: LEIGHTON, M.W.; KOLATA, D.R.; OLTZ, D.F.; EIDEL, J.J. (org.), **Interior Intracratonic Basins**. AAPG Memoir, 51p., p. 681-708, 1990.

8 ANEXOS

<i>ANEXO I - Dados dos poços tubulares amostrados.....</i>	<i>103</i>
<i>ANEXO II – Resultados Analíticos.....</i>	<i>106</i>
<i>ANEXO III - Balanço iônico e índices de saturação</i>	<i>109</i>
<i>ANEXO IV - Resultados físico-químicos.....</i>	<i>112</i>
<i>ANEXO V - Relações iônicas.....</i>	<i>115</i>

ANEXO I - Dados dos poços tubulares amostrados.

Localização e Características Geológicas dos Poços Amostrados										
Identificação da amostra e do poço	Coordenadas UTM		cota (m)	profundidade (m)	Grupo Bauru (espessura - m)	Grupo São Bento (espessura - m)			Grupo Passa Dois	Aquífero explorado
	X	Y				Fm. Serra Geral	Fm. Piramboia	Fm. Botucatu	Fm. Teresina	
1001	701660,00	7528000,00	560,00	315,00	100,00	0,00	0,00	194,00	21,00	Guarani
1002	700850,00	7525460,00	535,00	287,00	79,00	0,00	0,00	206,00	2,00	Guarani
1003	704450,00	7529050,00	520,00	300,00	61,00	10,00	52,00	229,00	1,00	Guarani
1004	707280,00	7530940,00	540,00	392,00	60,00	171,00	59,00	182,00	1,00	Guarani
1005	702543,00	7533192,00	511,00	474,00	60,00	159,00	80,00	171,00	4,00	Guarani
1006	701740,00	7535310,00	533,00	530,00	83,00	113,00	71,00	241,00	22,00	Guarani
1007	699021,00	7535318,00	614,00	161,00	161,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Guarani
1008	702379,00	7530421,00	515,00	310,00	60,00	0,00	0,00	234,00	16,00	Guarani
1009	704640,00	7530300,00	520,00	415,00	48,00	63,00	101,00	208,00	1,00	Guarani
1010	686600,00	7535600,00	585,00	140,00	140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
1011	692850,00	7531050,00	570,00	277,00	130,00	0,00	0,00	140,00	7,00	Guarani
1012	694000,00	7530800,00	560,00	245,00	115,00	0,00	0,00	127,00	3,00	Guarani
1013	694148,00	7532038,00	575,00	322,00	129,00	0,00	0,00	186,00	7,00	Guarani
1014	694280,00	7533690,00	530,00	471,00	100,00	174,00	96,00	204,00	1,00	Guarani
1015	696053,00	7533096,00	549,00	241,00	116,00	0,00	0,00	125,00	0,00	Guarani
1016	698339,00	7530771,00	510,00	206,00	54,00	0,00	0,00	231,00	1,00	Guarani
1017	696966,00	7530417,00	517,00	215,00	66,00	0,00	0,00	114,00	35,00	Guarani
1018	697566,00	7531738,00	528,00	220,00	120,00	0,00	0,00	100,00	0,00	Guarani
1019	692692,00	7529566,00	527,00	187,00	86,00	0,00	0,00	87,00	14,00	Guarani
1020	692990,00	7529520,00	539,00	189,00	92,00	0,00	0,00	86,00	11,00	Guarani
1021	696183,00	7531174,00	538,00	209,00	93,00	0,00	0,00	107,00	9,00	Guarani
1022	700227,00	7528959,00	560,00	307,00	100,00	0,00	0,00	207,00	1,00	Guarani
1023	704881,00	7531769,00	490,00	218,00	40,00	172,00	6,00	0,00	0,00	Serra Geral
1024	701237,00	7532276,00	501,00	351,00	51,00	0,00	70,00	222,00	8,00	Guarani
1025	697806,00	7533357,00	538,00	371,00	98,00	0,00	59,00	212,00	2,00	Guarani
1026	699299,00	7526954,00	538,00	160,00	79,00	0,00	0,00	81,00	0,00	Guarani
2001	698360,46	7528558,45	0,00	60,00	60	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2002	695361,61	7526028,32	-	137,00	108	0,00	29,00	0,00	0,00	Guarani
2003	698203,94	7529047,90	535,00	150,00	150,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2004	699355,93	7530281,38	-	38,00	38	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2005	701193,71	7533650,65	-	70,00	70,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2006	703720,67	7529209,33	0,00	193,00	193	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2007	703720,67	7529209,33	-	193,00	193	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2008	702631,37	7529479,84	-	100,00	100	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2009	696752,40	7528405,30	-	50,00	50	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2010	696254,67	7527256,69	563,00	100,00	100	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2011	695986,66	7526031,50	0,00	38,00	38	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2012	698015,88	7530625,96	-	138,00	80	0,00	58,00	0,00	0,00	Guarani
2013	701443,52	7532611,43	-	60,00	60,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2014	702380,62	7531659,71	-	65,00	65,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2015	701308,58	7529477,34	589,00	70,00	70,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru

Localização e Características Geológicas dos Poços Amostrados										
Identificação da amostra e do poço	Coordenadas UTM		cota (m)	profundidade (m)	Grupo Bauru (espessura - m)	Grupo São Bento (espessura - m)			Grupo Passa Dois	Aquífero explorado
	X	Y				Fm. Serra Geral	Fm. Piramboia	Fm. Botucatu	Fm. Teresina	
2016	700363,66	7526672,20	-	56,00	56,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2017	699394,22	7531123,69	514,00	120,00	102	0,00	0,00	18,00	0,00	Guarani
2018	701538,30	7525495,48	-	145,00	98	0,00	0,00	20,00	0,00	Guarani
2019	698819,91	7527754,42	575,00	75,00	75,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2020	698973,06	7533688,93	-	77,00	77,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2021	698054,17	7532846,62	-	48,00	48,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2022	700121,67	7531085,41	0,00	121,00	121,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2023	695756,94	7532348,88	-	46,00	46,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Bauru
2024	702916,64	7528252,16	619,00	253,85	202	0,00	0,00	51,83	0,00	Guarani
2025	707511,10	7530817,40	545,00	260,00	73	187,00	0,00	0,00	0,00	Serra Geral

ANEXO II – Resultados Analíticos

Resultados analíticos das amostras de água subterrânea.

ID das Amostras	HCO3	CO3	SO4	Cl	Ca	Mg	K	Na	Si	Al	Ba	Br	Cu	F	Fe	Mn	Ni	NO2	NO3	Sr	Zn
1001	70,4	6,55	0,60	0,19	2,38	0,13	0,10	25,90	8,13	-	0,079	0,39	-	0,10	-	-	-	-	0,22	0,34	-
1002	71,4	8,43	0,69	0,25	2,11	0,066	0,26	30,30	8,36	-	0,058	0,40	-	0,08	-	-	-	-	-	0,22	0,076
1003	69,5	-	-	0,15	3,38	0,22	0,25	23,10	7,27	-	0,1	0,38	-	0,08	-	-	-	-	0,17	0,61	0,018
1004	84,7	-	0,36	0,14	8,08	0,32	0,47	19,50	7,25	-	-	0,39	-	0,06	-	-	-	-	-	0,33	-
1005	69,5	9,83	0,95	0,28	2,84	0,16	0,32	28,50	7,78	-	0,009	0,37	-	0,08	-	-	-	-	-	0,31	-
1006	71,4	9,36	0,71	0,23	2,79	0,088	0,11	28,50	7,9	-	0,009	0,38	-	0,08	-	-	-	-	-	0,27	0,1
1007	66,6	14,0	0,63	0,25	0,73	-	-	33,10	8,76	0,016	0,51	0,39	-	0,10	-	-	-	-	-	0,1	2,78
1008	82,8	-	0,80	0,22	3,22	0,21	0,10	27,90	7,59	-	0,22	0,40	-	0,08	-	-	-	-	-	0,5	0,11
1009	78,1	-	0,48	0,14	5,56	0,41	0,30	21,20	7,5	-	0,41	0,40	-	0,06	-	-	-	-	-	0,64	0,8
1010	20,9	-	-	4,05	7,66	1,99	3,59	2,21	11,4	-	3,25	-	-	-	-	-	-	-	21,60	0,068	2,48
1011	90,4	3,74	1,46	0,98	3,42	0,4	0,19	30,80	8,98	0,032	0,21	0,42	-	0,10	-	-	-	-	2,14	0,19	0,098
1012	88,5	5,62	2,04	1,50	2,74	0,35	0,40	35,00	8,97	0,015	1,97	0,43	-	0,11	-	-	-	-	3,25	0,18	1,55
1013	82,8	-	0,89	0,29	2,23	0,21	0,15	28,90	7,73	-	1,58	0,42	-	0,08	-	-	-	-	0,13	0,3	0,57
1014	87,6	13,1	3,43	0,67	0,12	0,011	0,75	42,80	9,37	0,029	0,009	0,47	-	0,13	-	-	-	-	-	0,008	0,051
1015	90,4	-	0,91	0,60	2,8	0,27	0,80	30,20	8,25	-	0,97	0,41	-	0,08	-	-	-	-	1,21	0,34	0,61
1016	70,4	7,49	0,52	1,58	2,48	0,21	0,09	30,10	7,44	-	0,8	0,41	-	0,08	-	-	-	-	5,49	0,4	0,34
1017	71,4	15,0	1,31	0,75	0,99	-	0,60	36,50	8,95	0,017	0,65	0,44	-	0,10	-	-	-	-	0,98	0,14	0,91
1018	78,1	6,55	0,41	0,77	2,19	0,069	0,45	32,70	7,37	-	1,2	0,43	-	0,07	-	-	-	-	4,32	0,35	0,62
1019	75,2	15,9	2,30	0,55	1,16	0,054	-	38,90	8,17	0,021	0,27	0,46	-	0,11	-	-	-	-	-	0,13	0,24
1020	71,4	16,4	2,27	0,50	1,05	0,028	-	37,90	8,37	0,02	4,06	0,46	-	0,11	-	-	-	-	-	0,11	1,44
1021	74,2	14,5	1,46	0,62	1,4	0,026	0,67	37,20	8,92	0,011	1,19	0,42	-	0,11	-	-	-	-	0,56	0,23	1,52
1022	80,0	5,62	1,60	0,42	2	0,06	0,33	32,80	8,14	-	2,76	0,42	-	0,09	-	-	-	-	-	0,25	1,04
1023	90,9	-	0,25	0,09	9,62	1,12	0,07	19,30	8,9	-	1,28	0,46	-	0,06	-	-	-	-	-	1,36	0,38
1024	84,2	-	0,57	0,18	2,69	0,12	0,37	26,80	7,45	-	6,66	0,40	-	0,08	-	-	-	-	-	0,4	1,42
1025	78,1	4,21	0,28	0,16	3,2	0,33	0,37	26,90	7,58	-	3,03	0,41	-	0,09	-	-	-	-	-	0,32	0,41
1026	86,7	-	0,33	0,23	2,9	0,2	0,30	27,70	8,34	-	0,49	0,43	-	0,07	-	-	-	-	0,21	0,32	0,2
2001	10	-	-	2,84	4,16	1,45	3,43	2,35	10,1	-	4,64	-	0,028	-	-	-	-	-	17,3	0,055	0,47
2002	30,5	-	15,3	27,3	29,4	7,33	2,35	14,6	8,28	-	1,44	-	0,011	-	0,011	-	-	-	73,3	0,19	0,22

ANEXO III - Balanço iônico e índices de saturação

Amostra	Soma de cátions	Soma de ânions	Balanço iônico	IS_Dolomita	IS_Gipso	IS_Calcita	IS_Barita	IS_Quartzo	IS_Calcedônia	IS_Fluorita
1001	1,27	1,40	-5,09	-0,91	-5,05	-0,01	-1,65	0,03	-0,40	-4,34
1002	1,44	1,48	-1,30	-1,01	-5,06	0,06	-1,73	0,01	-0,42	-4,61
1003	1,21	1,15	2,49	-1,66		-0,41		0,04	-0,39	-4,35
1004	1,30	1,41	-4,08	-1,35	-4,72	-0,15		0,05	-0,38	-4,23
1005	1,41	1,50	-3,20	-0,41	-4,80	0,23	-2,41	-0,04	-0,47	-4,49
1006	1,40	1,51	-3,92	-0,85	-4,92	0,14	-2,53	0,00	-0,43	-4,48
1007	1,57	1,59	-0,49		-5,60	-0,22	-0,84	-0,06	-0,49	-4,91
1008	1,41	1,39	0,82	-0,95	-4,78	-0,06	-1,08	0,03	-0,40	-4,39
1009	1,29	1,30	-0,62	-0,67	-4,76	0,05	-1,03	0,03	-0,39	-4,40
1010	0,86	0,81	3,22	-4,14		-1,95		0,26	-0,17	
1011	1,56	1,71	-4,50	-6,39	-4,49	-2,90	-0,84	0,16	-0,27	-4,38
1012	1,78	1,79	-0,17	-2,78	-4,45	-1,12	0,27	0,15	-0,28	-4,18
1013	1,44	1,40	1,47	-1,41	-4,89	-0,37	-0,17	0,05	-0,38	-4,55
1014	1,89	1,98	-2,13	-2,64	-5,67	-0,99	-1,88	0,01	-0,42	-5,49
1015	1,54	1,55	-0,31	-0,98	-4,79	-0,16	-0,38	0,07	-0,36	-4,46
1016	1,48	1,56	-2,40	-0,93	-5,10	-0,11	-0,71	0,01	-0,42	-4,52
1017	1,69	1,75	-1,46		-5,16	-0,10	-0,43	-0,02	-0,45	-4,78
1018	1,59	1,61	-0,44	-1,09	-5,28	0,02	-0,65	-0,03	-0,46	-4,71
1019	1,77	1,84	-1,84	-0,71	-4,89	0,12	-0,59	-0,16	-0,59	-4,68
1020	1,81	1,79	0,60	-1,02	-4,94	0,08	0,58	-0,18	-0,61	-4,72
1021	1,78	1,77	0,29	-0,94	-5,00	0,20	-0,14	-0,15	-0,58	-4,59
1022	1,62	1,55	2,02	-0,77	-4,76	0,19	0,29	-0,07	-0,50	-4,56
1023	1,47	1,51	-1,06	0,45	-4,84	0,51	-0,84	0,09	-0,34	-4,19
1024	1,47	1,41	2,19	-0,58	-5,05	0,20	0,24	-0,07	-0,50	-4,51
1025	1,43	1,44	-0,35	0,04	-5,29	0,32	-0,41	-0,07	-0,50	-4,34
1026	1,39	1,45	-1,84	-0,50	-5,24	0,15	-1,12	0,02	-0,41	-4,58
2001	0,60	0,52	6,94	-8,05		-3,97		0,21	-0,22	
2002	2,80	2,77	0,49	-4,46	-2,69	-2,10	0,85	0,12	-0,31	
2003	1,84	1,66	5,29	-4,81		-2,30		0,30	-0,13	
2004	2,63	2,56	1,32	-3,15	-3,43	-1,45	0,26	0,32	-0,11	
2005	0,16	0,15	2,36	-7,78		-3,99		0,05	-0,38	
2006	0,97	0,99	-0,86	-5,23		-2,51		0,25	-0,18	

Amostra	Soma de cátions	Soma de ânions	Balanço iônico	IS_Dolomita	IS_Gipso	IS_Calcita	IS_Barita	IS_Quartzo	IS_Calcedônia	IS_Fluorita
2007	1,68	1,67	0,25	-2,56		-1,12		0,43	0,01	
2008	1,57	1,61	-1,38	-3,73		-1,66		0,34	-0,09	-3,45
2009	0,92	0,83	5,15	-8,37		-4,16		0,05	-0,37	
2010	0,27	0,21	13,22	-9,07		-4,66		0,10	-0,33	
2011	0,45	0,42	3,13	-6,58		-3,22		0,23	-0,20	-5,41
2012	2,76	2,64	2,21	-4,02	-3,67	-1,80	0,47	0,17	-0,26	
2013	0,57	0,46	10,47	-6,45		-3,07		0,15	-0,28	-5,34
2014	1,53	1,48	1,54	-4,95	-3,01	-2,34	0,57	0,19	-0,24	
2015	0,43	0,41	2,17	-7,37	-5,47	-3,68	-0,96	0,21	-0,21	-5,25
2016	0,73	0,65	5,77	-6,70		-3,24		0,18	-0,25	
2017	1,93	1,61	9,03	-1,14		-0,06		-1,19	-1,61	
2018	1,70	1,44	8,47	-3,63		-1,40		0,12	-0,31	-2,74
2019	0,41	0,43	-2,63	-7,74		-3,84		0,16	-0,26	
2020	0,91	0,98	-3,41	-4,52		-1,98		0,24	-0,19	
2021	2,09	2,15	-1,20	-7,91		-3,92		0,15	-0,28	
2022	2,23	2,16	1,73	-6,18		-2,88		0,10	-0,33	
2023	0,48	0,33	19,05	-4,14		-2,02		0,13	-0,30	
2024	2,97	1,31	38,92	-1,15	-4,75	-0,15	0,09	-1,14	-1,57	
2025	3,22	2,48	12,96	-9,14	-4,95	-4,16	0,80	0,23	-0,20	

ANEXO IV - Resultados físico-químicos

Resultados Físico-Químicos das amostras de água subterrânea					
amostra	Data da coleta	pH	condutividade elétrica	Eh	Temperatura
1001	20/02/2008	9,15	126,6	230,8	26,3
1002	20/02/2008	9,29	159,3	192,6	25,9
1003	20/02/2008	8,58	198	207,9	25,6
1004	20/02/2008	8,38	221,8	205,3	28,4
1005	20/02/2008	9,35	156,8	178,2	28,2
1006	20/02/2008	9,22	132,4	174,1	28,2
1007	20/02/2008	9,59	153,9	154,5	28
1008	21/02/2008	8,93	166,4	154,6	25,1
1009	21/02/2008	8,82	115	241,6	26,2
1010	21/02/2008	7,19	85,8	310,7	25,6
1011	21/02/2008	5,92	151,8	305,5	26,6
1012	21/02/2008	7,81	159,6	396	26,9
1013	21/02/2008	8,76	129,2	210	19,1*
1014	21/02/2008	9,46	187,4	296,2	27
1015	21/02/2008	8,85	133,9	278,1	25,3
1016	21/02/2008	9	137,5	316,8	25
1017	21/02/2008	9,5	160,4	296,4	24,5
1018	21/02/2008	9,21	140,7	291	18,2*
1019	21/02/2008	9,75	164,1	274,9	24,8
1020	21/02/2008	9,82	168,3	251	25
1021	21/02/2008	9,81	164,3	207,8	25,2
1022	21/02/2008	9,54	143,1	215,3	26
1023	22/02/2008	9,02	133,1	259,4	28,2
1024	22/02/2008	9,4	124,1	219,5	26,1
1025	22/02/2008	9,44	127,3	-	25,2
1026	22/02/2008	9,23	125,1	-	26
2001	23/04/2008	5,73	58,8	-	24,2
2002	23/04/2008	6,37	292,8	196	10,1*
2003	23/04/2008	6,37	173,2	214,3	26,5
2004	23/04/2008	6,75	393	202,7	18,5*
2005	23/04/2008	6,86	45,8	233,1	23,7
2006	23/04/2008	6,13	117,7	249,8	24,7
2007	23/04/2008	6,93	153,4	264,1	24,2
2008	23/04/2008	6,35	186,5	200,1	24,2
2009	24/04/2008	5,76	162,1	251,7	22,9
2010	24/04/2008	5,9	27,41	243,1	23,5
2011	24/04/2008	6,05	40,5	260	9,1*
2012	24/04/2008	6,35	244,1	81	24,4
2013	24/04/2008	6,08	47,6	171,4	23,5
2014	24/04/2008	6,24	162,2	203,8	26,1
2015	24/04/2008	5,88	45,2	218	24,9

Resultados Físico-Químicos das amostras de água subterrânea					
amostra	Data da coleta	pH	condutividade elétrica	Eh	Temperatura
2016	24/04/2008	5,78	65,2	219,7	27,3
2017	25/04/2008	8,26	283,7	210,4	24,1
2018	25/04/2008	7,67	130,2	347,8	24
2019	25/04/2008	5,85	60,9	239	26,1
2020	25/04/2008	6,48	131,1	238,9	25,1
2021	25/04/2008	5,54	233,3	257	25,4
2022	28/04/2008	5,29	221,6	174,7	7,6*
2023	28/04/2008	7,77	39,3	216,3	8,1*
2024	28/04/2008	8,05	117,9	173,2	6,6*
2025	28/04/2008	9,51	244,4	157,5	28,2

* medição não foi realizada no momento da coleta, porém em tempo inferior a 2 horas após a amostragem da água.

ANEXO V - Relações iônicas

tipo	ID	$\text{rHCO}_3^-/\text{rSiO}_2$	$\text{rSiO}_2/\text{r(Na}^{2+}+\text{K}^+-\text{Cl}^-)$	$\frac{\text{r(Na}^{2+}+\text{K}^+-\text{Cl}^-)}{\text{r(Na}^{2+}+\text{K}^+-\text{Cl}^-+\text{Ca}^{2+})}$	$\text{rNa}/\text{r(Na}^++\text{Cl}^-)$	$\text{rMg}^{2+}/\text{r(Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+})$	$\text{rCa}^{2+}/\text{r(Ca}^{2+}+\text{SO}_4^{2-})$	$\text{r(Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/\text{rSO}_4^{2-}$	rK^+/rNa^+	$\text{rMg}^{2+}/\text{rCa}^{2+}$	$\text{rNa}^+/\text{rCa}^{2+}$	$\text{rCl}^-/\text{rHCO}_3^-$
SAB	1010	2,646	1,756	0,162	0,457	0,300	1,000		0,955	0,428	0,251	0,334
SAB	2001	1,210	1,233	0,346	0,561	0,365	1,000		0,858	0,575	0,492	0,489
SAB	2003	4,588	0,394	0,296	0,649	0,309	1,000		0,114	0,446	0,732	0,521
SAB	2004	8,407	0,554	0,154	0,571	0,291	0,952	27,679	0,039	0,410	0,635	0,561
SAB	2005	0,562	1,802	0,729	0,846	0,537	1,000		1,341	1,158	1,245	0,083
SAB	2006	4,593	1,074	0,227	0,867	0,310	1,000		1,186	0,450	0,144	0,015
SAB	2007	11,895	0,858	0,134	0,917	0,262	1,000		0,386	0,354	0,120	0,007
SAB	2008	7,784	2,534	0,067	1,000	0,222	1,000		2,173	0,285	0,022	0,000
SAB	2009	0,426	0,742	0,562	0,634	0,394	1,000		0,388	0,649	1,585	2,258
SAB	2010	0,934	1,082	0,728	0,846	0,562	1,000		2,209	1,282	0,882	0,059
SAB	2011	2,216	2,690	0,247	0,930	0,352	1,000		5,201	0,544	0,053	0,002
SAB	2013	2,020	2,617	0,254	1,000	0,269	1,000		2,641	0,367	0,094	0,000
SAB	2014	5,727	2,171	0,069	0,515	0,281	0,758	4,361	0,072	0,390	0,568	0,582
SAB	2015	2,500	1,035	0,479	0,766	0,418	0,976	70,950	0,980	0,717	0,550	0,071
SAB	2016	2,518	7,618	0,059	0,252	0,313	1,000		3,401	0,455	0,044	0,107
SAB	2019	1,143	3,033	0,227	0,332	0,389	1,000		4,030	0,638	0,097	0,192
SAB	2020	5,326	2,899	0,080	0,677	0,166	1,000		2,041	0,199	0,034	0,012
SAB	2021	0,588	0,627	0,252	0,567	0,381	1,000		0,133	0,615	0,912	5,607
SAB	2022	11,293	0,197	0,358	0,745	0,219	1,000		0,082	0,280	0,755	0,209
SAB	2023	1,480	2,126	0,315	0,835	0,376	1,000		1,714	0,602	0,182	0,025
SAG	1001	4,741	0,258	0,904	0,995	0,083	0,905	10,359	0,002	0,090	9,486	0,004
SAG	1002	4,876	0,226	0,926	0,995	0,049	0,880	7,704	0,005	0,052	12,518	0,005
SAG	1003	4,401	0,257	0,857	0,996	0,097	1,000		0,006	0,107	5,957	0,004
SAG	1004	5,378	0,301	0,680	0,995	0,061	0,982	57,281	0,014	0,065	2,104	0,003
SAG	1005	5,296	0,223	0,897	0,994	0,085	0,877	7,827	0,007	0,093	8,748	0,005
SAG	1006	10,956	0,109	0,899	0,995	0,049	0,904	9,904	0,002	0,052	8,904	0,004
SAG	1007	11,201	0,097	0,975	0,995	0,000	0,735	2,776	0,000	0,000	39,524	0,005
SAG	1008	11,218	0,100	0,883	0,995	0,097	0,906	10,680	0,002	0,108	7,553	0,005
SAG	1009	10,610	0,130	0,769	0,996	0,108	0,965	31,124	0,008	0,122	3,324	0,003
SAG	1011	12,219	0,100	0,885	0,980	0,162	0,849	6,694	0,004	0,193	7,850	0,017
SAG	1012	11,236	0,098	0,916	0,973	0,174	0,763	3,895	0,007	0,211	11,135	0,026

tipo	ID	$\text{rHCO}_3^-/\text{rSiO}_2$	$\text{rSiO}_2/\text{r}(\text{Na}^{2+} + \text{K}^+ - \text{Cl}^-)$	$\text{r}(\text{Na}^{2+} + \text{K}^+ - \text{Cl}^-) / \text{r}(\text{Na}^{2+} + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{2+})$	$\text{rNa}/\text{r}(\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)$	$\text{rMg}^{2+}/\text{r}(\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+})$	$\text{rCa}^{2+}/\text{r}(\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})$	$\text{r}(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{rSO}_4^{2-}$	rK^+/rNa^+	$\text{rMg}^{2+}/\text{rCa}^{2+}$	$\text{rNa}^+/\text{rCa}^{2+}$	$\text{rCl}^-/\text{rHCO}_3^-$
SAG	1013	10,745	0,101	0,918	0,994	0,134	0,857	6,935	0,003	0,155	11,297	0,006
SAG	1014	15,003	0,067	0,997	0,990	0,131	0,077	0,096	0,010	0,151	310,900	0,010
SAG	1015	7,810	0,144	0,904	0,987	0,137	0,881	8,543	0,016	0,159	9,402	0,011
SAG	1016	9,392	0,118	0,911	0,967	0,123	0,920	13,021	0,002	0,140	10,580	0,032
SAG	1017	11,189	0,094	0,970	0,987	0,000	0,644	1,810	0,010	0,000	32,138	0,013
SAG	1018	11,648	0,091	0,928	0,985	0,049	0,928	13,461	0,008	0,052	13,016	0,014
SAG	1019	11,304	0,093	0,967	0,991	0,071	0,547	1,301	0,000	0,077	29,231	0,009
SAG	1020	12,506	0,084	0,969	0,992	0,042	0,526	1,157	0,000	0,044	31,464	0,008
SAG	1021	13,726	0,077	0,959	0,989	0,030	0,697	2,368	0,011	0,031	23,162	0,010
SAG	1022	10,062	0,105	0,934	0,992	0,047	0,750	3,143	0,006	0,049	14,296	0,008
SAG	1024	10,151	0,116	0,897	0,996	0,069	0,919	12,138	0,008	0,074	8,684	0,004
SAG	1025	10,198	0,119	0,880	0,996	0,145	0,965	32,035	0,008	0,170	7,328	0,003
SAG	1026	9,573	0,123	0,893	0,995	0,102	0,955	23,447	0,006	0,114	8,326	0,005
SAG	2024	8,424	0,058	0,923	0,999	0,119	0,940	17,855	0,003	0,135	11,887	0,002
SAG	2002	3,375	-1,976	-0,054	0,452	0,291	0,822	6,496	0,095	0,411	0,433	1,541
SAG	2012	4,521	0,418	0,372	0,723	0,224	0,966	36,969	0,024	0,288	0,925	0,316
SAG	2017	8,987	0,092	0,931	0,952	0,080	1,000		0,004	0,087	14,187	0,065
SAG	2018	9,308	0,096	0,933	0,986	0,100	1,000		0,005	0,111	14,018	0,016
Serra Geral	1023	12,148	0,146	0,636	0,997	0,161	0,989	109,882	0,002	0,192	1,749	0,002
Serra Geral	2025	13,159	0,060	0,991	0,996	0,099	0,312	0,504	0,000	0,110	108,272	0,006